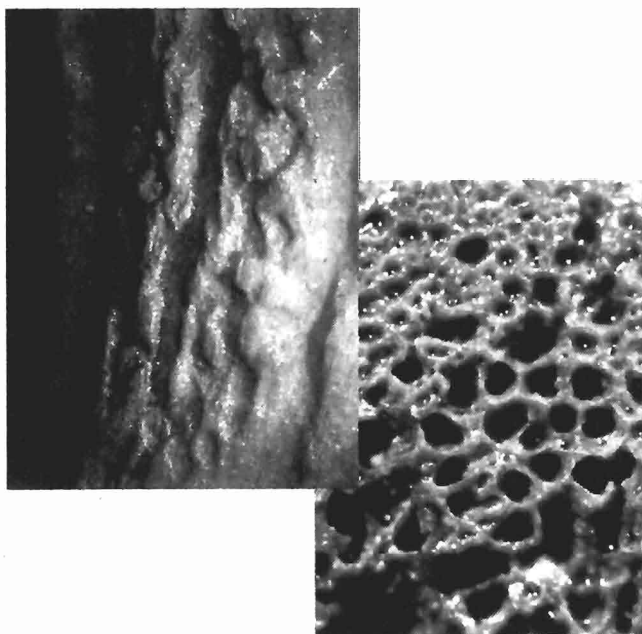


Haute école d'arts appliqués du canton de Neuchâtel

Filière : Conservation-Restauration, orientation archéologie, ethnographie

Travail de diplôme, 30.9.2002

Étude comparative entre différents traitements appliqués à la conservation des bois de cerf gorgés d'eau en vue d'un séchage



Barbara Pozzi

Mentor : Giacomo Pegurri

Remerciements

Je tiens à remercier :

Giacomo Pegurri, mentor de ce travail de diplôme pour son aide et ses précieux conseils.

les restaurateurs du laboratoire de conservation-restauration du Musée d'Archéologie et d'Histoire de Lausanne, pour leur hospitalité et leurs disponibilités, en particulier Claude Michel.

les services archéologiques de Bern, Lucerne et Neuchâtel pour m'avoir mis à disposition pour cette étude des objets en bois de cerf gorgés d'eau.

tous les laboratoires de conservation-restauration qui ont répondu à mon questionnaire et qui m'ont ainsi permis de mieux organiser mon travail de recherche.

les collaborateurs de la "Fachhochschule für Gestaltung, Kunst und Konservierung" de Bern et surtout M. Wülfert et M. Zumbuehl pour m'avoir permis d'utiliser leurs appareillages d'analyses.

François Straub du laboratoire d'algologie du Lycée Blaise-Cendrars de La Chaux-de-Fonds pour m'avoir aidé dans l'identification de différentes espèces d'algues et de microorganismes.

Enzo et toute ma famille pour leur soutien et leur encouragement pendant les six mois du travail de diplôme.

et toutes les personnes que j'ai oubliées de nommer, et qui m'ont soutenue et aidée pendant la réalisation de ce travail.

SOMMAIRE

Introduction	p.1
Première partie : les bois de cervidés	p.3
1.-Les bois de cervidés	p.4
1.1-Composition chimique des bois de cervidés	p.5
1.1.1-Le collagène	p.6
1.1.2-L'hydroxyapatite	p.7
1.2-Structure physique des bois de cervidés	p.7
2.-Les bois de cerf	p.9
2.1-La croissance des bois	p.12
3.-L'emploi des bois de cerf au néolithique	p.14
3.1-Techniques de travail du bois de cerf	p.16
4.-Dégradation des bois de cervidés en milieu archéologique	p.17
4.1-Les dégradations physiques	p.18
4.2-Les dégradations chimiques	p.19
4.3-Les dégradations biologiques	p.22
4.4-Dégradation et conservation en milieu aquatique	p.24
Deuxième partie : les objets employés dans la recherche	p.26
1.-Provenance des bois de cerf employés dans la recherche	p.27
1.1-Marin les Piécettes	p.27
1.2-Sutz Lattrigen	p.28
1.3-Hitzkirch Seematte	p.28
2.-Description des objets	p.28
2.1-Dimensions et couleur des objets	p.30
2.2-Traces de façonnage	p.33
3.-État de conservation des objets	p.35
3.1-État de conservation générale	p.35
3.2-Fissures et cassures	p.36

3.3-Algues et microorganismes	p.38
3.4-Les objets de Marin les Piécettes	p.41
3.5-État de conservation d'après des analyses au FTIR	p.42
3.5.1-Le FTIR	p.42
3.5.2-Les analyses	p.42
3.6-Le pH des objets	p.46

Troisième partie : les traitements p.47

1.- Le choix des traitements	p.48
2.-Produits et méthodes employés	p.51
2.1-Le polyéthylèneglycol (PEG)	p.51
2.1.1-Propriétés du PEG	p.53
2.2-Le Primal® WS 24	p.54
2.2.1-Propriétés du Primal® WS 24	p.55
2.3-Le Lactitol	p.56
2.3.1-Propriétés du Lactitol	p.57
2.4-Séchage lent et contrôlé	p.59
2.5-La lyophilisation	p.60
3.-Démarche et application des traitements	p.63
3.1-Les imprégnations	p.66
3.1.1-Les imprégnations sous vide partiel	p.67
3.2-Le séchage	p.68
3.2.1-Séchage lent et contrôlé	p.68
3.2.2-La lyophilisation	p.69
3.2.3-Séchage au four	p.71

Quatrième partie : résultats et interprétations p.72

1.-Méthode d'évaluation des résultats	p.73
2.-Observations pendant les traitements	p.74
2.1-Apparition de microorganismes dans les bains	p.74
2.2-Observations pendant la lyophilisation	p.78
2.3-Problèmes rencontrés avec le traitement au Lactitol	p.79

3.-Comparaison entre les traitements	p.84
3.1-Mise en oeuvre et déroulement des traitements	p.84
3.2-Pénétration des produits employés	p.88
3.2.1-Augmentation du poids des objets pendant les imprégnations	p.88
3.2.2-Quantité de produit absorbé par les bois de cerf	p.91
3.2.3-Analyses ultérieures	p.92
3.3-Consolidation apportée et stabilisation dimensionnelle des objets	p.94
3.3.1-Relation entre la réaction des objets lors du séchage et leur lieu de provenance	p.104
3.4.-Aspect des objets après traitement	p.107
4-Discussion	p.109
Conclusion	p.113
Bibliographie	p.116
Annexes	deuxième fascicule

INTRODUCTION

La conservation-restauration des matières organiques gorgées d'eau a été étudiée depuis longtemps. Le but de ces études était de trouver des produits qui soient capables de pénétrer dans le matériau, de se substituer à l'eau et de soutenir la structure interne de l'objet, de façon à éviter des effondrements et des fissures lors du séchage.

La plupart des expériences ont été accomplies sur des bois gorgés d'eau mais, très rarement, des tests ont été effectués sur des bois de cervidés.

Les bois de cervidé sont des excroissances des os du crâne des animaux de la famille de cervidés. Ils sont une sorte d'os modifié, dont la composition de base est très similaire à celle des os et de l'ivoire. Tous les trois sont composés de deux fractions distinctes, l'une organique et l'autre minérale. Grâce à la double nature des bois de cervidés, on peut retrouver ce type de matériau dans la plupart des sols archéologiques. Mais l'état de conservation des objets peut être très variable et dépendra beaucoup du milieu d'enfouissement. Des milieux submergés favorisent la préservation des objets en bois de cervidés. Cependant, ces artefacts sont fragiles et, après leur exhumation, si aucun traitement de conservation-restauration n'est appliqué, ils peuvent se fissurer et se casser.

Au cours de ce travail, on effectuera une étude comparative entre différents traitements appliqués à la conservation des bois de cerf gorgés d'eau en vue d'un séchage. Une évaluation des traitements et des procédures actuellement employés pour d'autres matières organiques gorgées sera aussi établie, afin de déterminer si ces méthodes peuvent être appliquées sur les bois de cerf. D'autre part, parmi ces différents traitements, on tentera d'établir lequel est le plus adéquat pour ce type d'objet. Enfin, on cherchera à déterminer les causes pour lesquelles certains objets, traités de manière identique, se fissurent et se cassent après séchage, et d'autres pas.

Cette étude a été réalisée dans les locaux du laboratoire de conservation-restauration du Musée d'archéologie et d'histoire de Lausanne et elle a été effectuée sur 25 bois de cerf gorgés d'eau provenant de trois sites néolithiques suisses différents. La majorité des objets était des fragments de gaines de haches, des andouillers et des déchets de fabrication. Tous

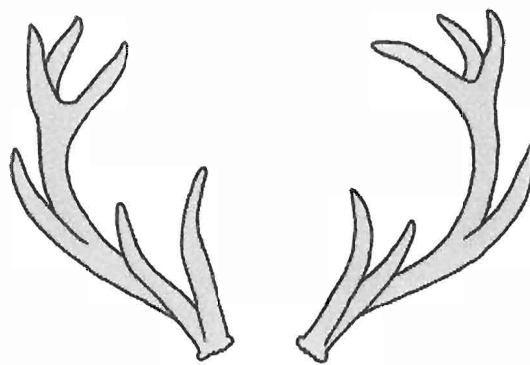
les objets ont été retrouvés dans des conditions très humides, mais on peut toutefois remarquer d'importantes différences de dégradation selon le site de découverte.

Étant donné qu'il n'existe que très peu de littérature traitant de la conservation des bois de cervidés gorgés d'eau, un questionnaire a été envoyé à tous les laboratoires suisses de conservation-restauration, afin de mieux appréhender les procédures qui sont actuellement employées pour le traitement des bois de cervidés gorgés d'eau. À partir des articles existants et des réponses obtenues, il a été possible d'établir une systématique de travail plus précise.

Les 25 objets seront traités avec des produits classiques pour ce type de matériau : le polyéthylèneglycol (PEG), puis le Primal[®] WS 24, et des essais seront effectués avec un nouveau produit employé pour la conservation des bois gorgés d'eau : le Lactitol. Les temps d'imprégnation des objets dans les bains seront variés et, pour ce qui concerne le Lactitol, deux concentrations de produit différents seront expérimentées. En plus, quelques objets seront séchés lentement en chambre humide, sans avoir reçu de traitement préliminaire. Pour terminer, sur un des objets, un essai de séchage par lyophilisation sera accompli.

Les différents traitements seront évalués selon la consolidation apportée au matériau (pénétration du produit, formation de fissures, cassures, etc.), selon la stabilisation dimensionnelle de l'objet après traitement (retraits et déformations) et selon l'aspect final des artefacts (couleur et lisibilité des détails). En plus, la facilité de mise en œuvre et le déroulement du traitement, seront deux autres critères qui seront pris en considération.

L'interprétation des résultats sera faite à partir d'observations visuelles, de calculs, de mesures et d'analyses accomplies avant, pendant et après les traitements.



Première partie : **Les bois de cervidés**

La ressemblance entre la forme et la texture des bois de cervidés avec les branches des arbres, a fait croire longtemps aux hommes qu'il s'agissait de véritables arbres. Au XVIII^{ème} siècle, le naturaliste Buffon était encore convaincu de cette théorie. Cette conviction a laissé des traces dans la langue française, où le terme de "bois" est toujours employé pour désigner le panache des cervidés¹.

¹ Goss R.J., 1983, p.133

1.-Les bois de cervidés

Le terme de bois de cervidé est souvent confondu avec le terme de corne. Mais ces deux matériaux sont très différents, même si, dans les deux cas, il s'agit de protubérances frontales de certains animaux. La corne est formée par un produit de synthèse de l'épiderme : la kératine². Par contre, **les bois de cervidés sont des excroissances des os du crâne³** des animaux de la famille des cervidés, comme le cerf, le daim, le chevreuil, le renne, l'élan, etc. Les bois de cervidés sont donc une sorte d'os modifié, dont la composition chimique de base reste très similaire à celle de l'os et de l'ivoire⁴. Toutefois, à la différence de ces deux derniers, **le bois de cervidés est caduc**, c'est-à-dire qu'il tombe et repousse chaque année⁵. Seuls les mâles des différentes espèces possèdent des bois, à exception des femelles de renne et de caribou⁶.

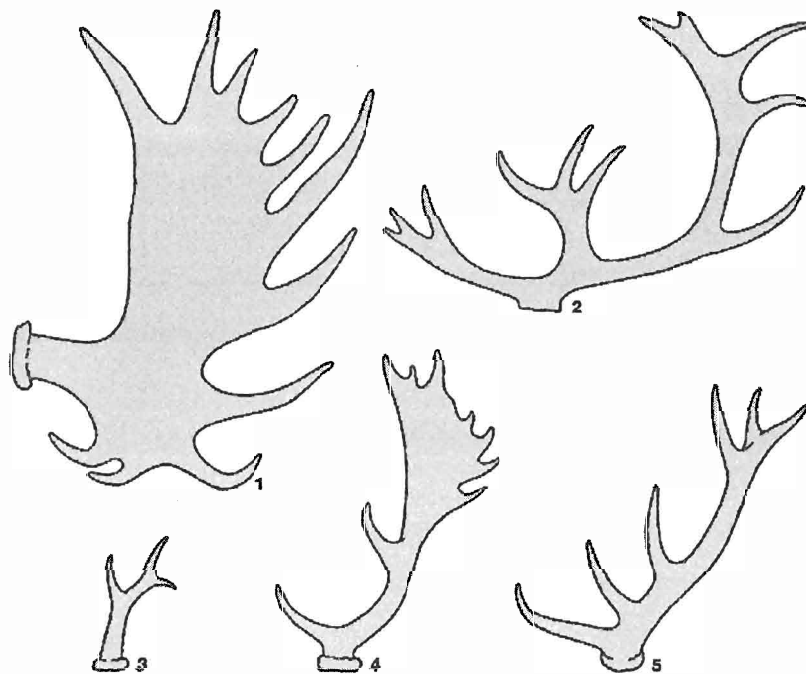


Fig.1 : Exemples de bois de cervidés ; 1 : élan, 2 : renne, 3 : chevreuil, 4 : daim, 5 : cerf
(Ulbricht I., 1978, p.16)

² Cristoferi E., 1992, p.21

³ ICC, 1989, p.2

⁴ Bergeron A. et Rémillard F., 1991, p.44

⁵ Krzyszkowska O., 1990, p.58

⁶ Hodges H., 1981, p.153

La formation des bois est très rapide et, en général, après quatre mois de croissance frénétique elle est accomplie⁷. Sur les jeunes animaux, les premiers bois poussent sous forme de deux dagues cylindriques plus ou moins larges. Ensuite, avec les années, le bois se développe sous des formes différentes et variées selon l'espèce du cervidé⁸ (voir fig.1).

Cependant, même si la forme diffère, tous les bois de cervidés sont formés par un axe central, le **merrain**, duquel partent les différentes ramifications, les **andouillers** (ou pointes, ou cors). Chez certaines espèces, comme par exemple les élans et les daims, on peut observer des **andouillers palmés**⁹ (voir fig.1). En outre, la base du merrain est toujours ornée par une excroissance circulaire, la **meule** (ou rose, ou couronne)¹⁰.

1.1-Composition chimique des bois de cervidés

Le panache des cervidés présente une composition chimique presque identique à celle de l'os et de l'ivoire. Tous les trois sont composés de **deux fractions distinctes**, l'une **organique** et l'autre **minérale**. Cette dernière est principalement composée d'**hydroxyapatite**, et elle représente environ les 2/3 de la masse du matériau⁷. Grâce à cette partie inorganique, le bois de cervidés est résistant et rigide¹¹.

La fraction organique est essentiellement composée de **collagène** et d'une fraction minimale d'une substance amorphe formée de glycoprotéines et de mucopolysaccharides¹². C'est elle qui permet au bois de croître¹¹. La quantité de collagène dans les bois de cervidés est légèrement supérieure à celle de l'os, ce qui lui permet d'être plus élastique. La partie restante du matériau est constituée d'eau¹³.

⁷ Bergeron A. et Rémillard F., 1991, p.44

⁸ Ulbricht I., 1978, p.17-18

⁹ Bubenik A.B., 1990, p.8

¹⁰ Billamboz A., 1982, p.9

¹¹ ICC, 1989, p.1

¹² Hedges R.E.M., 1987, p.22

¹³ O'Connor T.P., 1987, p.6

1.1.1-Le collagène

Le collagène est une **macromolécule protéinique** formée par l'enchaînement d'un peu plus de mille acides aminés, dont les principales sont la glycine, l'alanine et la proline¹⁴ (voir fig.2).

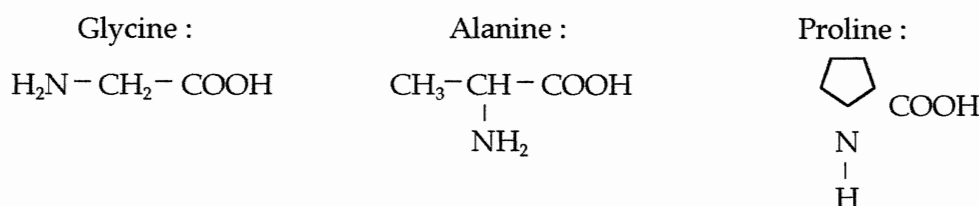


Fig.2 : Formule des trois principaux acides aminés du collagène (De La Baume, 1990, p.230)

Ces acides aminés sont liés ensemble par des liaisons peptidiques et, au moment de leur formation, une molécule d'eau est libérée. En conséquence, comme toutes les autres protéines, **le collagène est sujet aux hydrolyses**.

L'enchaînement des acides aminés du collagène présente des séquences d'acides aminés apolaires et d'acides aminés polaires. Les premières séquences ont une structure cristalline et les deuxièmes sont de nature amorphe, donc susceptible de réagir chimiquement¹⁵.

La chaîne protéinique s'enroule en hélice, et elle est maintenue en forme par des liaisons hydrogène. Plusieurs hélices torsadées ensemble, forment pour finir une protéine fibreuse : le collagène¹⁶. Cette structure complexe permet au collagène d'être **très résistant à la tension, tout en restant flexible**¹⁷.

Dans les bois de cervidés, les longues fibres de collagène sont disposées principalement selon l'axe longitudinal, ce qui leur donne des **propriétés anisotropes**, c'est-à-dire qu'ils possèdent des propriétés différentes selon les différentes orientations¹⁸.

¹⁴ De La Baume S., 1990, p.232 ; et Godfrey I.M. et all., 2002, p.30

¹⁵ De La Baume S., 1990, p. 229-232 ; et O'Connor T.P., 1987, p.6

¹⁶ De La Baume S., 1990, p. 231

¹⁷ O'Connor T.P., 1987, p.6

¹⁸ Cronyn J.M., 1990, p.275

1.1.2-L'hydroxyapatite

La structure des fibres du collagène est rigidifiée par la déposition, sur elle et à son intérieur, d'un **sel complexe**¹⁷. Il est représenté par la formule basique : $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, connu sous le nom d'hydroxyapatite¹⁹. Après de nouvelles études, on s'est aperçu qu'il s'agissait d'une apatite biologique très proche de l'hydroxyapatite, mais avec du carbone dans sa composition. La dahllite, dont la formule chimique est : $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{CO}_3)\text{H}_2\text{O}$, représente plus correctement la phase minérale des bois de cervidés²⁰.

Ce minéral représente la majorité de la partie inorganique des bois de cervidés, le reste étant composé d'une petite quantité de carbonate de calcium et de fluorure de calcium²⁰.

Pour des raisons de simplicité et de relations avec la plupart des articles traitant ce sujet, nous avons, dans ce manuscrit, fait le choix de continuer à parler d'hydroxyapatite pour représenter la partie inorganique des bois de cervidés.

1.2-Structure physique des bois de cervidés

Si la composition chimique des bois de cervidés et celle des os est très similaire, la structure physique présente par contre des différences, même si parfois la distinction entre ces deux matériaux reste très difficile.

Les bois de cervidés sont composés d'une couche extérieure de **tissu osseux compact** et d'une partie interne de **tissu spongieux**²¹ (voir fig.3). Cette partie spongieuse représente un des critères majeurs de distinction entre l'os et les bois de cervidés, puisqu'elle est visuellement assez différente²². De plus, les bois de cervidés sont pourvus de vaisseaux sanguins internes, moins nombreux et plus irréguliers que ceux de l'os, et ils sont donc plus denses et plus lourds²³.

¹⁹ Koob S.P., 1984, p.98

²⁰ Godfrey I.M. et al., 2002, p.30

²¹ Hodges H., 1981, p.153

²² O'Connor S., 1987, p.9

²³ ICC, 1989, p.2

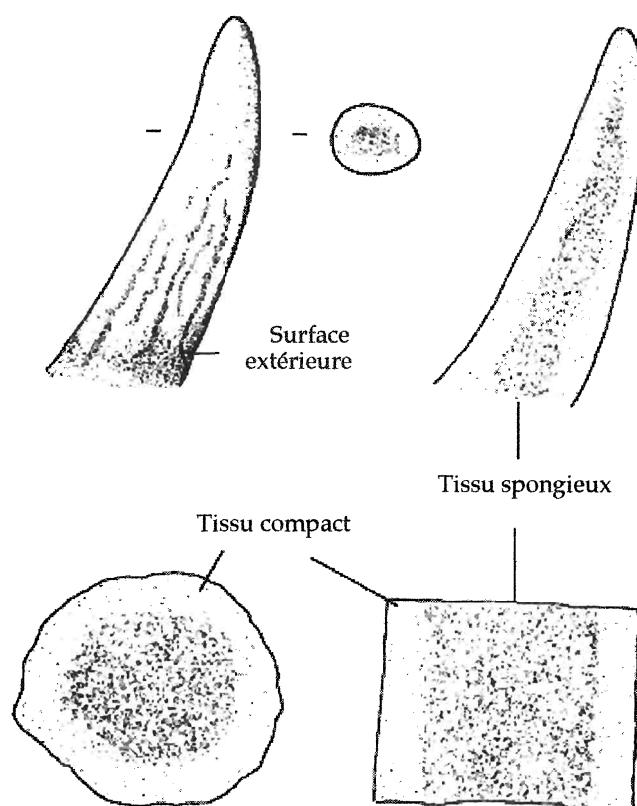
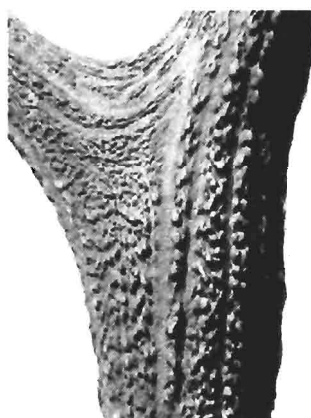


Fig.3 : Structure des bois de cervidés (Krzyszkowska O., 1990, p.62)



Une autre différence par rapport aux os, c'est la **surface externe des bois de cervidés**, qui a une apparence **irrégulière et grenue**. Elle est ornée de gouttières, qui sont des canaux longitudinaux formés par un système vasculaire important lors de la croissance des bois, et de perlures, c'est-à-dire des nodosités de la surface entre les gouttières (voir fig.4)²⁴.

Fig.4 : Surface des bois de cervidés (Perrot J., 1999, p.24)

²⁴ Billamboz A., 1982, p.9

Les bois de cervidés présentent une **structure plus ou moins lamellaire et tubulaire**, qui est similaire à celle des os, même si elle est moins régulière²⁵. Cette configuration est due à la disposition des longues fibres de collagène, qui sont placées principalement selon un seul axe et qui donne à ce matériau des propriétés anisotropes²⁶.

La section du bois de cervidés et le pourcentage de matériau solide et spongieux varie d'espèce à espèce, ce qui permet leur identification. De même, la quantité de la partie spongieuse peut aussi être différente entre des individus de la même espèce, et entre les différentes zones du bois. Les andouillers sont en effet moins spongieux que le merrain. Les variations entre les individus sont, par contre, dues à l'âge de l'animal et aux différents régimes alimentaires²⁷. Des études ont également démontré que la partie spongieuse est présente en quantité inférieure sur des animaux castrés que sur des animaux non castrés²⁸.

2-Les bois de cerf

Le cerf (*cervus elaphus*) est un animal de la famille des ruminants qui peuple les forêts européennes depuis longtemps²⁹. Les premiers cerfs apparaissent en Asie Centrale, il y a 10 millions d'années et suite à des migrations, ils se sont établis sous nos latitudes. Hormis quelques ours, le cerf est aujourd'hui le plus grand mammifère terrestre d'Europe Centrale. En moyenne, il mesure de 1,20 m à 1,50 m, et pèse de 170 à 220 Kg pour les mâles, et de 90 à 130 Kg pour les femelles³⁰.

Les mâles portent sur la tête une ramure très imposante, qui représente 4 à 5 % du poids de l'animal. En général, ce poids est de 6 à 10 kilos, mais il peut parfois dépasser les 15 kilos.

²⁵ O'Connor T.P., 1987, p.6

²⁶ Cronyn J.M., 1990, p.275

²⁷ Krzyszkowska O., 1990, p.63

²⁸ Penniman T.K., 1952, p.35

²⁹ De Monbrison A., 1972, p.34

³⁰ Perrot J., 1999, p.20-24

Les bois de cerf ont une forme arquée, avec beaucoup de ramifications. Le nombre d'andouiller augmente avec l'âge, et les bois atteignent le maximum de pointes et de puissance entre 11 et 15 ans³¹. Une fois cet âge dépassés, la taille et le nombre des pointes commence à diminuer³².

Généralement, dans les Alpes, les bois de cerfs s'arrêtent à 12 ou 14 cors (6, 7 andouiller par bois) mais, en Europe de l'Est, il peut arriver que certains individus atteignent 18 ou 20 cors³².

Comme tous les bois de cervidés, la ramure des cerfs est composée de la meule, du merrain, et de différentes pointes, qui réunissent l'andouiller basilaire, l'andouiller de glace, l'andouiller central et les époïs de l'empaumure³³ (voir fig.5).

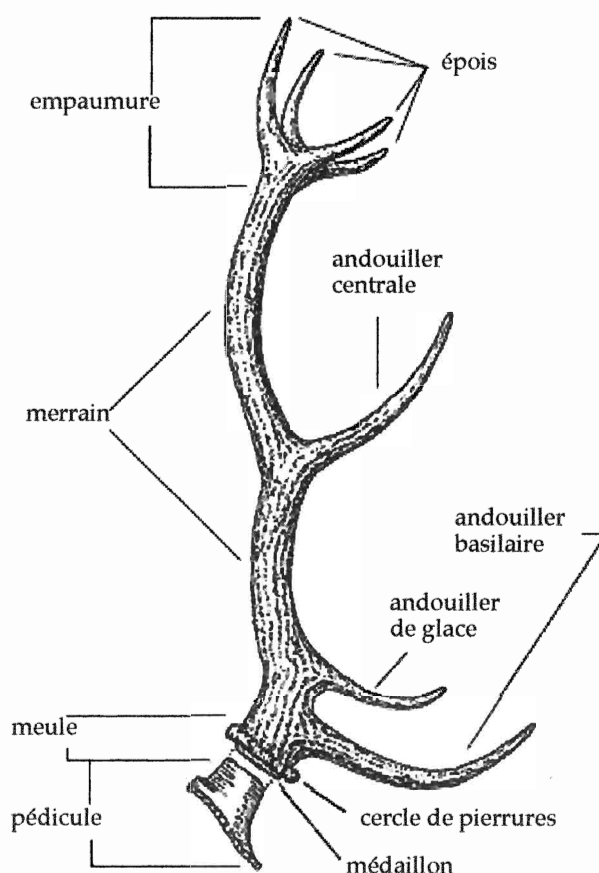


Fig.5 : Bois de cerf et terminologie utilisée (Billamboz A., 1977, p.97)

³¹ De Monbrison A., 1972, p.45-48

³² Perrot J., 1999, p.24-25

³³ Billamboz A., 1977, p.97

La terminologie des bois de cerf possède plusieurs variantes et, pour une meilleure compréhension du texte, une liste des différents synonymes et une brève description des termes utilisés a été dressée. Dans ce document, les expressions qui seront utilisées, seront toujours celles qui se trouvent en première position.

Andouiller, pointes ou cors : ramification annuelle du merrain. Le terme cors est normalement utilisé pour désigner le nombre total des andouillers sur le panache d'un cerf. Un cerf à dix cors possède donc cinq andouiller sur chaque bois³⁴.

Andouiller basilaire, andouiller d'œil, de combat ou de massacre : première ramification à la base du merrain³⁴.

Andouiller central ou chevillure : troisième branche de la structure classique, légèrement au-dessous de la moitié du merrain³⁴.

Andouiller de la glace ou surandouiller : ramification en deuxième position sur le merrain, parfois absente³⁴.

Andouiller de loup : quatrième branche du merrain, parfois présent sur le bois, mais normalement considéré comme atypique³⁵ (inexistant sur la fig.5). Il est situé entre l'andouiller basilaire et les ramifications terminales³⁶.

Empaumure, couronne, chandelier ou nid de pie : ensemble des branches terminales du bois. On parle d'enfourchure lorsque la ramification ne comporte que deux branches, et de trochure lorsque la ramification est composée de trois branches³⁴.

Épois : andouillers terminaux du bois de cerf formant l'empaumure³⁴.

Médailillon ou cachet : surface de séparation à la base du bois lors de la chute annuelle³⁴.

Merrain ou perche : tige centrale du bois sur lequel se forment les futurs andouillers. Dans sa forme première, non ramifiée, elle est appelée dague³⁴.

Meule, rose, rosier ou couronne : bourrelet circulaire à la base du merrain, formé de petites bosses plus ou moins arrondies ou soudées entre elles, les pierrures³⁴. Il se forme par cicatrisation après la chute de la ramure. Il est par conséquent inexistant chez les cerfs de première tête³⁶.

³⁴ Billamboz A., 1982, p.8-10

³⁵ Billamboz A., 1977, p.97

³⁶ Perrot J., 1999, p.25

Pédicule ou pivot : appendice frontal intermédiaire entre le crâne et les bois³⁷.

Autres termes utiles :

Bizard : se dit d'une tête à structure aberrante, qui s'est formée pour des raisons pathologiques ou en cas de vieillesse³⁷.

Bois de massacre : bois prélevé artificiellement sur une bête abattue ou morte³⁷.

Bois de mue ou de chute : bois perdu naturellement par un cerf lors de la chute annuelle³⁸.

Tête : ramure sous sa forme annuelle. On dit que l'animal est à sa première, deuxième, troisième, ... tête³⁷.

2.1-La croissance des bois

La repousse annuelle des bois de cerf est un phénomène exceptionnel et rien dans le monde animal ne dépasse la rapidité d'allongement des bois de cervidés. Sur une période d'environ 150 jours, les bois subissent une croissance qui peut atteindre un allongement de 2 cm par jour. En tenant compte des deux bois, un cerf adulte peut produire jusqu'à 10 cm de matière nouvelle par jour³⁹.

Au mois de mars, sur une impulsion hormonale⁴⁰, les bois commencent à pousser sur les deux excroissances frontale de l'animal : les pédicules, qui ont chacun leur centre générateur propre⁴¹. Au cours de la pousse, les bois sont formés d'une matière spongieuse, où le sang



Début mars : les bois sont tombés et les pivots cicatrisent



Fin mars : apparition du merrain et du 1^{er} andouiller

³⁷ Billamboz A., 1982, p. 8-10

³⁸ Perrot J., 1999, p.27.

³⁹ Goss. R.J., 1983, p.133-134

⁴⁰ Perrot J., 1999, p.26.

⁴¹ Billamboz A., 1977, p. 96

peut circuler, et peu après, ils sont protégés par une peau velue, le **velours**. Ils sont alors dit bois de velours⁴². Les bois grandissent par l'extrémité de la matière, par tranches horizontales successives. Le système d'irrigation, qui alimente la division de cellules, et qui forme le cartilage, se propage au fur et à mesure jusqu'au sommet du bois⁴³.

La base du merrain et celle de l'andouiller de massacre se dessine au bout d'un mois, puis la croissance s'accélère en atteignant une augmentation d'un à deux centimètre par jour⁴⁴.

Au cours de la pousse, l'activité cellulaire des **ostéoblastes permet de calcifier le cartilage fibreux des bois et de le transformer dans un véritable tissu osseux**⁴⁵. Pendant ce processus, le cerf accumule dans ses bois d'énorme quantité de sels minéraux. Ces derniers proviennent essentiellement de sa nourriture, mais ils peuvent également être puisés dans son squelette⁴⁴. Avec l'ossification graduelle de la meule, les vaisseaux sanguins diminuent à l'intérieur du bois, et le **pourcentage de tissus compacte augmente**⁴⁶.

À la fin du mois de juin, les bois sont complètement développés. L'ossification est terminée et tous les contacts avec le reste du corps ont cessés. **Le bois de cerf est maintenant un os mort**. Le velours s'est desséché et la bête s'en débarrasse en frottant ses bois contre les arbres⁴⁵. Une fois dénuder de leur velours, les bois sont blancs et



Fin avril : les bois croissent par l'extrémité



Fin juin : le cerf a refait sa tête et le cartilage durcit



Juillet : le cerf se débarrasse du velours desséché

⁴² Billamboz A., 1977, p.96-97

⁴³ De Monbrison A., 1972, p.45

⁴⁴ Perrot J., 1999, p.26

⁴⁵ Billamboz A., 1982, p.12

⁴⁶ MacGregor A., 1985, p.12

neufs. Après quelques heures, ils vont s'assombrir pour adopter leur couleur définitive, qui peut varier du gris au brun foncé. Cette coloration est due à l'oxydation de l'os mis à nu, et aux tanins des végétaux contre lesquelles ils se sont frottés⁴⁷.

La présence du système d'innervation pendant la croissance des bois permet au cerf de se rappeler la configuration de sa ramure, ce qui lui permet d'éviter les branches des arbres et de manipuler ses bois avec élégance lors des combats avec d'autres mâles pendant la période des amours⁴⁸.



Fin juillet : le cycle de la croissance des bois est terminé

Fig. 6 : Cycle de croissance des bois de cerf (Perrot J, 1999, p.26-27)

La chute des bois est déclenchée par une impulsion des hormones sexuelles. Elle est provoquée par l'action des ostéoclastes, des cellules spécialisées dans la réabsorption du tissu osseux, qui se développent entre le pédicule et la meule⁴⁹. En février ou début mars, les cerfs commencent à souffrir de démangeaisons et, à force de frotter leurs ramures contre les arbres, ils vont provoquer la chute des bois, qui tombent en même temps ou à quelques heures d'intervalle⁴⁷.

Le pédicule cicatrise en quelques jours et forme un bourrelet gorgé de sang, qui est recouvert par une fine peau légèrement velue. C'est sur ce rideau opaque que **recommence tout de suite un nouveau cycle de croissance des bois**⁴⁷.

3.-L'emploi des bois de cerf au néolithique

Le bois de cerf était déjà exploité au néolithique pour la fabrication d'outils et de parures. Il **était particulièrement apprécié pour sa robustesse, son élasticité et pour sa faculté d'amortir les chocs**. Ces propriétés sont dues à la forme arquée de ses éléments, et surtout

⁴⁷ Perrot J., 1999, p.26

⁴⁸ Goss R.J., 1983, p.166

⁴⁹ Goss R.J., 1983, p.139-140

à sa structure interne, qui est composée d'un cortex compacte autour d'une partie spongieuse. Elles en font un matériau résistant et souple à la fois. Cette résistance est particulièrement forte dans les zones les plus calcifiées de la ramure, c'est-à-dire la meule, les extrémités des andouillers et leurs attaches au merrain. C'est à partir de ces zones que les hommes du néolithique ont fabriqué la plupart des outils, qui devaient être solide⁵⁰.

Les bois de cerf étaient exploités surtout pour la fabrication de gaines de haches, en raison de leur capacité d'amortir les chocs, mais beaucoup d'autres objets ont été fabriqués à partir de ce matériau (voir fig.7).

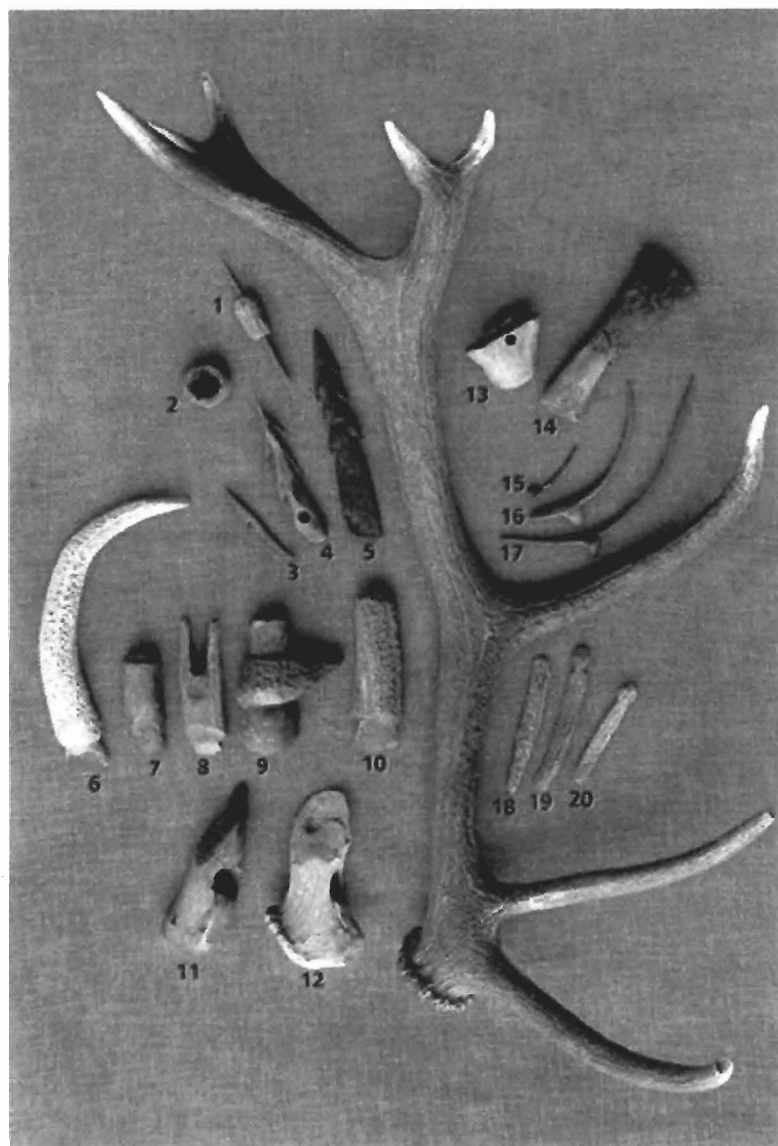


Fig.7 : Exemple des quelques objets fabriqués à partir de la ramure des cerfs, au néolithique (Perrot J., 1999, p.29).

- 1 et 6 : manches
- 2 : anneau
- 3, 4 et 5 : harpons
- 8 : gaines de hache bifides
- 9 : gaines de hache à ailettes
- 7 et 10 : gaines de hache à douille
- 11 et 12 : haches-marteaux perforés
- 13 : gobelets percé
- 14 : marteau
- 15, 16 et 17 : aiguilles
- 18, 19 et 20 : navettes

⁵⁰ Billamboz A., 1977, p.99

La partie basse du merrain (y compris la meule et le pédicule quand il s'agissait d'un bois de massacre) servait à la fabrication de grandes gaines à ailettes (voir fig.7, objet 9), de haches marteaux perforées (11 et 12) et de gobelets (13). Ces objets, surtout des marteaux (14) pouvaient également être constitués à partir de la base de l'empaumure⁵¹.

La partie droite du merrain, située près de l'andouiller central, servait pour la réalisation de gaines bifides (8), de gaines à douille (7 et 10), de navettes (18,19 et 20) et de harpons barbelés (4 et 5). Les andouillers, par contre, étaient réservés à la fabrication de manche (1 et 6), d'aiguilles (15, 16 et 17), d'anneaux (2), de harpons à barbules simples et de pioches à une ou deux pointes⁵¹.

Le bois de cerf était également travaillé à des fins décoratives et culturelles. A partir de ce matériau, on réalisait des objets de parure et d'apparat, et même des symboles phalliques⁵².

3.1-Techniques de travail du bois de cerf

Les hommes du néolithique travaillaient surtout les bois de moue, mais on peut retrouver aussi des objets façonnés à partir de bois de massacre. Ces bois étaient prélevés sur des cerfs abattus pendant la chasse, entre l'été et l'hiver, quand les bois étaient déjà pleinement formés. Par contre, les bois en cour de pousse étaient trop tendres et donc inutilisables⁵².

Le bois de cerf était travaillé de la même façon que le bois mais, à cause de sa dureté, avant d'être façonné, il était adouci par un séjour plus ou moins long dans l'eau. Une fois sec, il retrouvait sa dureté naturelle⁵³. Pour suivre les plans de segmentation naturelle du matériau, et diminuer le risque de fissurations, le bois de cerf était travaillé sur deux axes principaux : l'axe longitudinal et l'axe transversal⁵⁴.

Le **sectionnement** était la technique la plus commune et consistait à couper la ramure en plusieurs segments³³. Le bois pouvait être coupé avec une hache en pierre (entaillage en percussion lancée), en posant directement le tranchant sur la surface à transformer

⁵¹ Perrot J. 1999, p.29

⁵² Billamboz A., 1977, p.99-100

⁵³ Hodges H., 1981, p.154 ; et Billamboz A., 1977, p.104

⁵⁴ Billamboz A., 1977, p.100-104

(entaillage en percussion posée sans percuteur), ou encore en utilisant un outil intermédiaire tranchant (matière dure animale) entre la matière à travailler et le percuteur (entaillage en percussion posée avec percuteur)⁵⁵.

La ramure pouvait également être coupée par **sciage au silex** ou par **sectionnement à la ficelle**. Dans ce dernier cas, le bois était coupé par un mouvement de va-et-vient à l'aide d'une ficelle ou d'une bande de cuir qui avait préalablement été trempée dans l'eau et dans le sable⁵⁶.

Une autre technique employée, au néolithique, mais qui était déjà connue depuis le paléolithique supérieur, est le **rainurage**. Elle consistait à creuser une baguette plus ou moins longue dans le bois, par un mouvement unidirectionnel répété de va-et-vient avec un élément tranchant en silex. Après avoir aménagé deux rainures longitudinales assez profondes, un coin était enfoncé pour faire sortir la partie découpée⁵⁷.

La technique du **décorticage** consistait à faire une série d'entailles successives, ce qui permettait d'élever des parties plus ou moins épaisses du bois pour la mise en forme de l'objet⁵⁸. La pièce pouvait ensuite être **perforée** à l'aide d'un outil en silex, en un mouvement tournant de la main et, pour finir, la surface de l'objet pouvait subir une **abrasion** et un **polissage** par frottement de l'objet sur une surface avec des grains plus ou moins grossiers⁵⁹.

4.-Dégradation des bois de cervidés en milieu archéologique

La dégradation des bois de cervidés commence dès la chute de la ramure et se prolonge indéfiniment. Ces dégradations sont multiples et peuvent être de l'ordre physique, chimique et biologique⁶⁰.

⁵⁵ Provenzano N., 1999, p.276

⁵⁶ Kokabi M., 1996, p.19

⁵⁷ Billamboz A., 1977, p.102 ; et Provenzano N., 1999, p.281

⁵⁸ Provenzano N. 1999, p.279

⁵⁹ Billamboz A., 1977, p.100

⁶⁰ De La Baume S., 1990, p.234

Grâce à la double nature des bois de cervidés (organique et inorganique) on peut retrouver ce type de matériau dans la plupart de sols archéologiques. En effet, ces deux fractions se conservent à des pH opposés. Les pH acides attaquent la partie inorganique et conservent la partie organique, tandis que les pH basiques favorisent la dégradation du collagène et laissent intacte l'hydroxyapatite. L'état dans lequel les objets seront trouvés dépendra donc essentiellement du pH⁶¹. Si le pH du sol est un critère important, plusieurs autres facteurs devront aussi être pris en considération, comme la présence ou l'absence de l'eau et de l'oxygène⁶². L'espèce, l'âge et l'état de santé de l'animal peuvent aussi influencer la dégradation. On remarque aussi des différences de conservation entre des bois de moue et des bois de massacre. Ces dernières semblent se conserver moins bien que les bois tombés naturellement de la tête de l'animal. Les bois de moue sont généralement solides, lourds et bien conservés, tandis que les bois de massacre sont légers, fragiles et souvent dégradés en surface⁶³.

4.1-Les dégradations physiques

Ces dégradations modifient l'objet sous l'effet de contraintes purement mécaniques, qui se produisent le plus souvent lors de son utilisation. Cependant, après l'abandon, les objets peuvent également subir des dégradations physiques, sous la pression exercée par le poids de la terre et sous l'effet abrasif des particules qui circulent avec l'eau, dans la terre ou dans les sites immergés⁶⁴.

Comme tous les matériaux organiques, les bois de cervidés contiennent de l'eau dans leur structure, et plusieurs dégradations peuvent survenir avec son départ. Avec le départ de l'eau, les fibres de collagène ont tendance à se rapprocher les unes des autres, et provoquer des ruptures dans les liaisons entre les fibres, ce qui se traduit par des fissures et des cassures dans le bois, une perte générale d'élasticité et une fragilisation générale du

⁶¹ Cronyn J.M., 1990, p.277

⁶² Vasquez J., 1996, p.12

⁶³ Billamboz A., 1977, 99-100.

⁶⁴ De La Baume S., 1990, p.235

matériau⁶⁵. À cause de l'anisotropie des bois de cervidés, les fissures se formeront en prévalence selon l'axe longitudinal⁶⁶.

Un excès d'humidité n'est pas non plus souhaitable, car il amène le matériau à en absorber une partie dans sa structure pour se maintenir en équilibre avec le milieu environnant. Dans un premier temps, il se formera des liaisons faibles avec les molécules hydrophiles du collagène, ce qui provoquera un gonflement des fibres. Ensuite, l'eau circulant sous forme d'eau libre, amènera des impuretés dans la structure interne du matériau. En effet, l'eau dans le sol n'étant jamais pure, elle transportera différents sels minéraux dissous et toutes sortes de particules. Avec un changement d'humidité, ces impuretés peuvent provoquer des contraintes mécaniques sur l'objet. Lors du séchage par exemple, les sels dissous dans l'eau peuvent se cristalliser en augmentant de volume, ce qui peut entraîner des fissures en raison des fortes tensions qui sont occasionnées à la surface de l'objet⁶⁷. Un phénomène similaire se vérifie lorsque la température s'abaisse au-dessous de 0° C. L'eau à l'intérieur du matériau se transforme en glace, ce qui apporte une augmentation de volume et l'endommagement de l'artefact⁶⁸.

4.2-Les dégradations chimiques

Ce type de dégradation est le résultat des réactions chimiques entre les composés internes des bois de cervidés et les composés provenant de l'environnement.

Le sol contient une infinité de substances variées, dont plusieurs sont capables de réagir avec la partie organique ou inorganique des bois de cervidés. En plus, les milieux d'enfouissement sont rarement neutres et les objets seront donc soumis à un environnement acide au basique⁶⁹.

⁶⁵ Cronyn J.M., 1990. p.242

⁶⁶ Billamboz A., 1977, p.100

⁶⁷ De La Baume S., 1990, p. 235

⁶⁸ Stone T.T. and all., 1990, p.178

⁶⁹ De La Baume S., 1990, p.236

Dans des conditions acides, les composants minéraux des bois de cervidés sont attaqués et dissous⁷⁰. Les atomes libres d'hydrogène, présents dans des milieux acides, remplacent les atomes de calcium de l'hydroxyapatite, ce qui provoque la dissolution de la fraction inorganique⁷¹. Si le pH est légèrement acide et que le sol est aéré, la fraction minérale se dissout et la fraction organique se dégrade sous l'effet des microorganismes (voir chap.4.3). Dans ces conditions, l'objet peut disparaître complètement. Toutefois, si le pH du sol est inférieur à 5, ce qui peut parfois se produire dans des régions dont le sous-sol est essentiellement siliceux, l'activité biologique est grandement ralentie, préservant de ce fait la fraction organique aux dépens de la fraction minérale. De même, lorsqu'un sol acide présente des caractéristiques anaérobies, comme sur les sites lacustres limoneux ou argileux, la fraction organique sera protégée, laissant en place un objet mou et fragile, mais dont la forme est préservée⁷².

Au contraire, dans des sols basiques, la partie inorganique des bois de cervidés est conservée, tandis que le collagène s'hydrolyse et qu'il est attaqué par des bactéries⁷³. L'hydrolyse du collagène provoque une dépolarisation de la macromolécule protéinique en unités plus petites et simples, jusqu'à la séparation de chaque acide aminé. L'eau pénètre dans la structure du collagène, puis s'installe entre les liaisons des fibres, ce qui provoque un relâchement conséquent de la structure hélicoïdale. Les groupes polaires et amorphes du collagène sont aussi hydratés, ce qui provoque une séparation des chaînes moléculaires et le gonflement des fibres de collagène. Avec un gonflement extrême, les macromolécules de collagène se dispersent et les liaisons intramoléculaires se cassent. La chaîne protéinique se sépare alors en unités plus simples, qui ne peuvent plus être rétablies⁷⁴. La fraction organique est donc dégradée, puisqu'elle laisse des espaces vides entre la fraction minérale. Dans le cas de sols humides, ces espaces se saturent d'eau, et les sels véhiculés par l'eau, de nature métallique dans le cas de sols basiques, cristallisent dans les espaces libres, renforçant ainsi la fraction minérale des bois de cervidés⁷⁵.

⁷⁰ Singley K., 1988, p.85

⁷¹ Stone T.T. and all., 1990, p.178-179

⁷² Bergeron A. et Rémillard F., 1991, p.47

⁷³ Cronyn J.M., 1990, p.277

⁷⁴ Florian M.-L.E., 1980, p.41 et 44

⁷⁵ De La Baume S., 1990, p.244

Dans des sols très alcalins, le bois de cervidés se transforme donc en un matériau fragile et friable, parfois même crayeux et poudreux, puisque c'est uniquement la partie inorganique qui est conservée⁷⁶.

Un milieu neutre ou légèrement alcalin offrent de bonnes conditions pour la conservation des bois de cervidés. Dans ces conditions en effet, la partie minérale n'est pas attaquée. Un petit pourcentage de la fraction organique se dégrade, mais une grande partie du collagène est protégée par l'hydroxyapatite qui l'entoure, et il est donc conservé⁷⁷.

La composition minérale du sol peut également affecter la stabilité des objets enfouis puisque d'une part, une grande concentration de sels favorise l'hydrolyse du collagène,⁷⁸ et d'autre part, **dans un milieu fortement minéralisé, des échanges peuvent se produire entre le sol et la fraction inorganique des bois de cervidés, en modifiant sa structure de base.** Par exemple, l'hydroxyapatite ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) est influencé par la présence d'ions de calcium (Ca) et de phosphate (PO_4) dans le sol. Lorsqu'il y a un déséquilibre entre ces éléments, le matériau réagit avec le milieu pour rétablir un équilibre. Si le sol est riche en calcium et pauvre en phosphates, des phosphates de l'hydroxyapatite migrent dans le sol pour créer une stabilité entre ces composants. Dans le cas inverse, dans un sol riche en phosphates et pauvre en calcium, le phénomène est opposé : le calcium de l'hydroxyapatite migre dans le sol. Mais, selon la composition du sol, l'hydroxyapatite peut également absorber des ions de calcium ou de phosphate du sol. L'hydroxyapatite subit donc des variations importantes dans sa structure chimique, et l'objet en bois de cervidés peut subir soit une déminéralisation, soit une augmentation de sa fraction inorganique⁷⁹.

Pendant l'enfouissement, des ions de calcium de la fraction inorganique des bois de cervidés peuvent aussi être substitués par du strontium, du radium ou du plomb. Les ions du phosphore de l'hydroxyapatite peuvent, par contre, être remplacés par des radicaux de carbonate. Pour finir, les groupes hydroxyles peuvent être substitué par du fluorure⁸⁰.

⁷⁶ Koob S.P., 1984, p.98

⁷⁷ Koob S.P., 1984, p.98

⁷⁸ Florian M.-L.E, 1980, p.44-45

⁷⁹ Stone T.T. and all., 1990, p.178 ; et White E.M. and Hannus L.A., 1983, p.316

⁸⁰ O'Connor T.P., 1987, p.6

L'hydroxyapatite a, en outre, la propension d'attirer les ions métalliques présents dans le sol⁸⁰. Ces derniers vont s'accrocher à la surface de l'objet qui va alors prendre la couleur de ces sels, comme des teintes rousses d'oxydes de fer ou bleu-vert de carbonate de cuivre⁸¹.

Enfin, les bois de cervidés peuvent subir un processus de **minéralisation**. Dans ce cas, les phosphates de calcium sont progressivement substitués par des carbonates de calcium. Ce processus de minéralisation provoque une désorganisation structurelle des bois de cervidés, qui se traduit par une augmentation de la porosité et une fragilisation du matériau⁸².

La **fossilisation** se différencie de la minéralisation par une dégradation de la matière organique qui, par la suite, est remplacée par des substances inorganiques véhiculées par l'eau, et qui vont aussi substituer les composants chimiques de l'hydroxyapatite⁸³.

4.3-Les dégradations biologiques

La **dégradation biologique** est provoquée par l'attaque de la matière par des **microorganismes** et des **organismes supérieurs**. Elle peut être d'ordre **physique** ou **chimique**. Ce type de dégradation est peut-être la plus évidente dans le monde du vivant, puisqu'elle fait partie du cycle naturel de la putréfaction⁸⁴.

Les **organismes supérieurs** provoquent sur l'objet des **dommages** qui sont surtout **physiques**. Bien que les bois de cervidés soient plus résistants à ce type de dégradation que la plupart des autres matières organiques, ils peuvent être endommagés par des rongeurs et d'autres petits animaux qui recherchent une source de sel minéraux. Il n'est donc pas rare de voir une ramure partiellement ou complètement rongée (voir fig.8)⁸⁵. Ce type de dégât peut se produire soit avant le façonnage de l'objet, soit pendant l'enfouissement, après son abandon.

⁸¹ De La Baume S., 1990, p.245

⁸² Florian M.-L.E., 1980, p.53

⁸³ Abellonet L., 1989, p.63-64

⁸⁴ Cronyn J.M., 1990, p.24

⁸⁵ Goss R.J., 1983, p.138

Les objets en bois de cervidés peuvent également être endommagés par les racines des végétaux supérieurs qui sont proche du milieu d'enfouissement. Ces racines peuvent créer des galeries ouvertes sur la surface de l'objet⁸⁶.



Fig.8 : Bois de cerf endommagé par les rongeurs (Perrot J., 1999, p.28)

Mais, dans le cas des bois de cervidés, la majeure partie des dégradations biologiques sont provoquées par des microorganismes (champignons et bactéries), et particulièrement par des bactéries collagénoses⁸⁷. Dans ce cas, les altérations seront essentiellement d'ordre chimique et dégraderont surtout la fraction organique du matériau. Les microorganismes trouvent dans le collagène les éléments indispensables à leur développement, comme le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote. Pour se nourrir, ils doivent transformer les longues chaînes protéiniques en molécules plus simples. Ils sont donc pourvus d'enzymes spécifiques qui sont capables de rompre les liaisons de la macromolécule du collagène, ce qui provoque une perte de la matière organique. Tous les microorganismes ne possèdent pas les enzymes nécessaires à cette dégradation première du collagène, et la cohabitation de plusieurs espèces différentes sur le même substrat est donc fréquente⁸⁸.

En plus, la décomposition du collagène par les microorganismes provoque la formation des ions libres d'hydrogène qui attaquent et dégradent les cristaux d'hydroxyapatite⁸⁹.

La majorité de ces organismes nécessite de l'eau et de l'oxygène pour vivre. Dans des conditions extrêmement sèches ou anaérobies, les altérations biologiques sont donc

⁸⁶ De La Baume S., 1990, p.245

⁸⁷ O'Connor T.P., 1987, p.7

⁸⁸ De La Baume S., 1990, p.238

⁸⁹ Stone T.T. and all., 1990, p.179

considérablement ralenties, même si certains microorganismes se sont adaptés à vivre dans ses situations sans oxygène⁹⁰.

Des températures très basses peuvent également représenter un facteur de limitation de l'activité biologique⁹¹. L'attaque des microorganismes est aussi fortement réduite dans des sols à pH très acides ($\text{pH} < 5$) ou très basiques ($\text{pH} > 9$), ou encore lorsqu'il y a présence de sel métallique, comme les oxydes de fer et de cuivre. La propension de l'hydroxyapatite d'absorber des ions métalliques (voir chap. 4.2) a donc un effet inhibiteur sur l'activité biologique⁹².

4.4-Dégradation et conservation en milieu aquatique

L'eau représente un important élément de dégradation des bois de cervidés. Elle est à la base de l'hydrolyse du collagène, et favorise beaucoup de réactions chimiques. Elle permet la prolifération de divers microorganismes et organismes supérieurs. **Mais, paradoxalement, en grand quantité, l'eau peut être un facteur de préservation.**

Ce phénomène s'explique par la relation entre l'oxygène et l'eau dans la nature. La diffusion d'oxygène est gouvernée par la quantité d'eau. Plus un sol est riche en eau, moins les molécules d'oxygène seront capables d'y pénétrer et, donc, moins le taux d'oxygène sera important⁹³. **Les sites subaquatiques sont des milieux anaérobies et, grâce à l'absence d'oxygène, la plupart des dégradations biologiques et chimiques sont absentes.** L'hydrolyse et l'activité de quelques microorganismes anaérobies sont toujours présentes, mais elles sont ralenties⁹⁴. Un enfouissement rapide dans le sédiment assure également une protection contre certaines attaques biologiques et préserve l'objet de l'effet abrasif qui est provoqué par les courants. D'autre part, les lacs et les mers, qui ont souvent un pH stable, proche de la neutralité ou légèrement basique (pH entre 8 et 9 pour les mers),

⁹⁰ Cronyn J.M., 1990, p.24-25

⁹¹ Cronyn J.M., 1990, p.243

⁹² O'Connor T.P., 1987, p.7

⁹³ Bricht M.H., 1994, p.28

⁹⁴ Cronyn J.M., 1990, p.243

ce qui empêche la dissolution de l'hydroxyapatite, sont riches en sels minéraux dissous ou en suspension dans l'eau⁹⁵. Ces substances peuvent donc interagir avec l'hydroxyapatite et modifier sa structure. Mais, encore une fois, l'absence d'oxygène ralentit en partie ce phénomène.

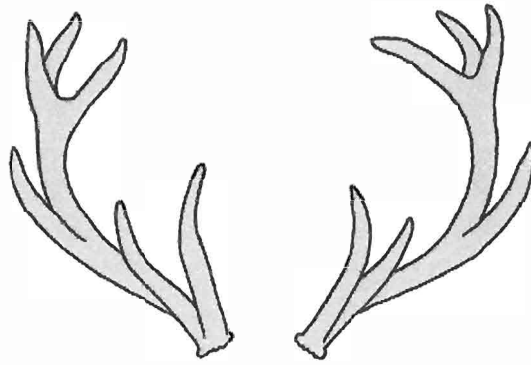
Dans ces milieux très humides, les bois de cervidés se retrouveront saturés d'eau, avec des fibres de collagène gonflées, des liaisons moléculaires cassées, et une partie de leur substrat organique dissous ; la fraction minérale sera par contre relativement bien conservée. L'objet aura donc subi un affaiblissement général mais, grâce à la tension superficielle de l'eau présente dans la structure des bois de cervidés, le matériau sera soutenu et gardera sa forme⁹⁶.

Les milieux subaquatiques favorisent donc la préservation des objets en bois de cervidés qui, dans la plupart des cas, sont retrouvés dans de bonnes conditions de conservation⁹⁷. Cependant, à cause de la perte partielle du collagène, ces artefacts sont fragiles et, au moment du départ de l'eau, si aucun traitement de conservation-restauration n'est appliqué, l'objet peut se fissurer, se casser ou même s'effriter complètement.

⁹⁵ De La Baume S., 1990, p.239

⁹⁶ Mühlethaler B., 1973, p.16

⁹⁷ O'Connor T.P., 1987, p.7



Deuxième partie :

Les objets employés dans la recherche

1.-Provenance des bois de cerf employés dans la recherche

L'étude comparative entre différents traitements pour la conservation des bois de cerf gorgés d'eau a été effectuée sur 25 objets provenant de trois sites néolithiques suisses différents.

La majorité des bois de cerf (15 objets) proviennent du Sutz-Lattrigen, et ils ont été prêtés par le service archéologique du canton de Bern. Les autres objets proviennent de Marin les Piécettes (7 objets) et de Hitzkirch Seematte (3 objets), et ils ont été prêtés respectivement par les services archéologiques des cantons de Neuchâtel et de Lucerne.

1.1-Marin les Piécettes

La station néolithique de Marin les Piécettes se trouve sur le littoral nord du lac de Neuchâtel, à proximité du canal du Thielle, et il se situe sur la commune de Marin-Epagnier (canton Neuchâtel). Les fouilles en cours depuis 1998 ont permis de découvrir un village de la fin du Néolithique moyen, daté entre 3636 et 3345 avant J.-C. L'établissement néolithique se trouve à environ 300 m du rivage actuel, et les vestiges se situent à un peu moins d'un mètre au-dessus du niveau moyen du lac. La couche archéologique se situe en moyenne entre 50 et 70 cm sous la surface actuelle du sol. Elle est composée d'un limon argilo-sableux à forte teneur en matière organique, surmonté d'une couche de tourbe. Progressivement durant des années, le gisement a souffert d'un assèchement de la zone, probablement à la suite des corrections des eaux du Jura entreprises dès la seconde moitié du XIXe siècle. Cette alternance de périodes sèches et humides est attestée par des fentes de dessiccation importantes qui se sont créées dans la tourbe. La plupart des artefacts archéologiques ont mal supporté cette baisse d'humidité, qui a aggravé leur état de conservation¹.

Les bois de cerfs qui ont été employés pour ce travail et qui proviennent de Marin les Piécettes ont été fouillés en 2001. Il s'agit de sept andouillers.

¹ Honegger M., 2001, p.30-34

1.2-Sutz Lattrigen

Le site Sutz-Lattrigen (canton Bern) se trouve sur la côte est du lac de Bienne. C'est pendant des fouilles subaquatiques entreprises à partir du 1993, qu'ont été découverts des vestiges archéologiques appartenant au néolithique inférieur et au néolithique supérieur².

Les 15 objets qui ont été employés pour ce travail datent du 3200-3000 avant J.-C. Ces objets sont des fragments de gaines de haches et quelques déchets de fabrication. Ils ont été retrouvés pendant les fouilles de 2001, dans le sédiment lacustre. Les objets ont probablement été enfouis à une profondeur allant de 1 à 4 m, et parfois un côté de l'objet devait être décelé du sable. Car, sur une partie des bois de cerfs ont été retrouvées des algues vertes, qui se développent uniquement à ces profondeurs et en présence du soleil³.

1.3-Hitzkirch Sematte

Les trois bois de cerf provenant de Hitzkirch Sematte ont été retrouvés au cours d'une prospection qui a été effectuée en février 2002 près du lac de Beldegg (canton Lucerne).

Aucune autre information n'est actuellement disponible sur le lieu d'enfouissement.

Il s'agit de deux andouillers et d'un déchet de fabrication.

2.-Description des objets

Les 25 bois de cerf, gorgés d'eau, qui ont été employés pour ce travail sont : **10 fragments de gaines de haches, une gaine de haches complète, 10 andouillers, 3 déchets de fabrication et un objet indéterminé (voir fig.9).**

² Nidau A., 1999, p.30-34

³ François Straub, laboratoire d'algologie du Lycée Blaise-Cendrars à La Chaux-de-Fonds

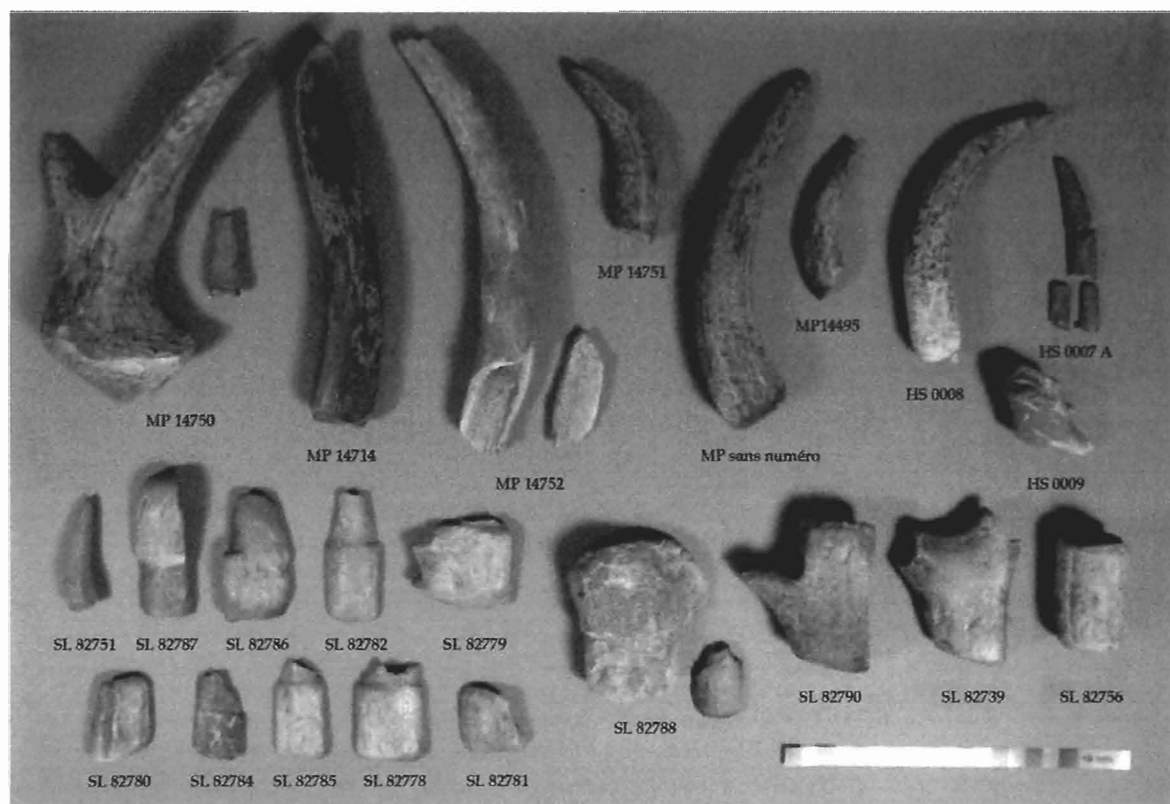


Fig. 9 : Les 25 bois de cerf employés dans la recherche (photo des objets après traitement)

Les fragments de gaines de hache sont souvent assez petits, ce qui rend l'identification du type de hache difficile ; mais la plupart semble être des gaines de hache à couronne. L'identification précise est possible uniquement sur deux objets : un fragment formé par la moitié d'une gaine de hache à couronne en ergot (SL 82788) (voir fig.9 et fig.16 p.34) ; et une gaine de hache entière, qui représente une gaine en ailette⁴ (SL 82790) (voir fig.9 et fig.15 p.34).

En ce qui concerne les andouillers, la plupart sont des déchets de fabrication, à l'exception d'un objet qui, probablement, est un manche d'outil (HS 0008). Les trois autres déchets de fabrication proviennent par contre du merrain (2 objets) et de la meule (1 objet) du bois de cerf.

⁴ Voruz J.-L., 1994, p.108-109

2.1-Dimensions et couleur des objets

À cause de la diversité des objets, **les dimensions des artefacts sont très variées** ; elles sont comprises entre 37 et 240 mm de hauteur et entre 16 et 67 mm de large. Une gaine de haches, les trois déchets de fabrication et tous les andouillers, à l'exception d'une petite pointe, présentent une circonférence complète. Les autres objets, par contre, sont incomplets.

La couleur des objets gorgés d'eau varie entre des tonalités brune et rougeâtre. En général, on peut observer des différences de couleur entre les objets des différents sites. Les bois de cerf provenant de Sutz-Lattrigen sont généralement d'une teinte brun foncé, avec parfois de partie rougeâtre. Un objet de Hitzkirche Seematte est aussi brun foncé, tandis que les autres (deux artefact) sont brun clair. Les objets de Marin les Piécettes sont beaucoup plus rougeâtres à l'exception d'une petite pointe d'andouiller (MP 14495). Cette différence était bien visible, en particulier lorsque les objets étaient gorgés d'eau.

Une fois secs, tous les objets se sont éclaircis, prenant des teintes brun clair qui tiraient plus ou moins sur le rougeâtre.

La tonalité rougeâtre est très probablement la conséquence d'une absorption d'oxyde de fer par le matériau. Sur la partie spongieuse du petit fragment de gaine de hache numéro SL 82778, une tache rougeâtre en forme de fer à cheval est visible. Sous microscope, on peut observer la formation d'une multitude de petits cristaux (voir fig.10 et 11).

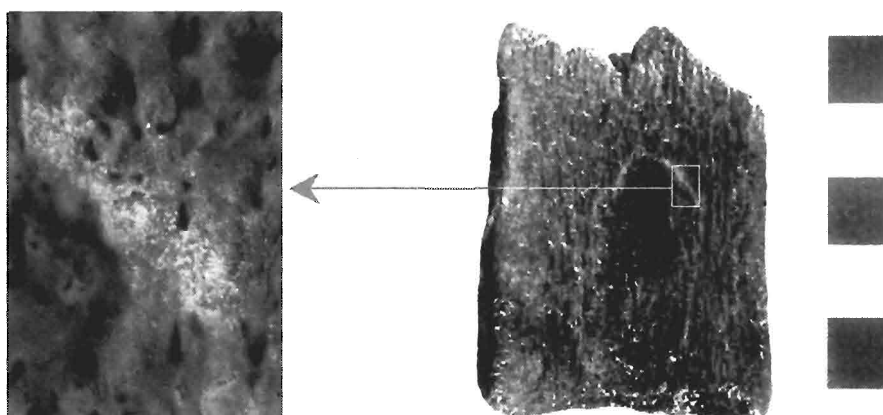


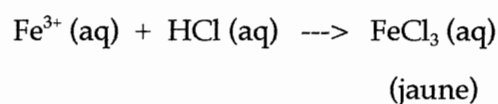
Fig.10 et 11 : Tache rouge formée de petits cristaux sur la partie spongieuse d'un fragment de gaine de hache (SL 82778) (échelle fig. 10 ; 1 : 0,08, fig.11 ; 1 : 1)

Des tests micro chimiques ont alors été effectués pour détecter la présence de fer.

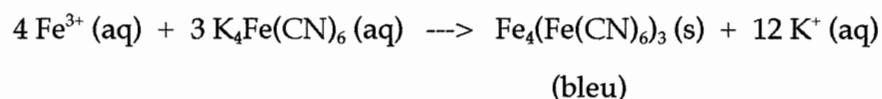
Tests micro chimiques :

Pour détecter la présence d'ions de fer III (Fe^{3+}) il est possible effectuer des tests micro chimique à l'acide chlorhydrique et au ferrocyanure de potassium. En effet, ces deux substances réagissent avec le fer pour former des composés colorés.

En présence d'acide chlorhydrique (HCl) et de chaleur, les oxydes de fer forment du chlorure de fer (III) (FeCl_3), qui a une coloration jaunâtre⁵ :



Pour avoir une confirmation supplémentaire de la présence de fer, on peut ajouter du ferrocyanure de potassium à la solution. Pour réagir avec ce composé, les ions de fer (III) doivent d'abord être dissous dans l'acide chlorhydrique. Une fois que les ions de fer (III) sont dissous, ils vont réagir avec le ferrocyanure de potassium ($\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$) pour former du ferrocyanure ferrique ($\text{Fe}_4(\text{Fe}(\text{CN})_6)_3$), un complexe de couleur bleu de Prusse⁶.



Pour effectuer ces tests sur les objets, un petit échantillon a été prélevé des bois de cerf, puis ils ont été déposés sur une plaquette en verre. Une goutte d'acide chlorhydrique à 10 % a été appliquée sur chacun des échantillons. À ce stade, on peut observer une efflorescence qui est due à la dissolution de carbonate de calcium de l'hydroxyapatite par l'acide. Ensuite, la plaquette en verre a été mise sur une plaque chauffante, pour provoquer la formation du chlorure de fer (jaune). Si l'échantillon contient du fer, on voit que la solution prend une couleur légèrement jaunâtre.

⁵ Odegarard N. and all., 2000, p.64-65

⁶ Odegarard N. and all., 2000, p.62-63

Une fois que l'acide s'est totalement évaporé, une goutte de ferrocyanure de potassium, qui a été dissous dans l'eau déminéralisée (1g $K_4Fe(CN)_6$ pour 25 ml d' H_2O), a été posée sur l'échantillon. À ce point, s'il y a présence d'ions de fer, la solution se colore en bleu de Prusse (voir fig. 12)⁷.



Fig.12 : Test micro chimique positif pour la détection de fer. a) échantillon avant le test (échelle 1 :0,1), b) échantillon après l'ajoute d'acide chlorhydrique (couleur jaunâtre) (échelle 1 :0,4) c) échantillon après l'ajoute de ferrocyanure de potassium (coloration bleue) (échelle 1 :0,4)

Tous les bois de cerf de Marin les Piécettes se sont révélés positifs au test micro chimique pour la détection d'ions de fer ; toutefois, sur la pointe d'andouiller (MP 14495), moins rougeâtre que les autres, la coloration bleue a été moins forte.

Les cristaux de la tache à forme en fer de cheval du petit fragment de gaine de hache (SL 82778) et toutes les parties plus rougeâtres des objets de Sutz-Lattrigen se sont aussi révélés positifs au test. La même chose est valable pour le petit andouiller de couleur brun foncé provenant de Hitzkirch Seematte (HS 0007 A). Par contre, les deux autres objets de Hitzkirch Seematte et les parties non rougeâtres des bois de cerf de Sutz-Lattrigen se sont révélés négatifs au test.

Au terme de ces tests, on peut donc affirmer que la plupart des bois de cerf ont absorbé des oxydes de fer dans leur structure, ce qui a provoqué une coloration rougeâtre à la surface des artefacts. Cette absorption est ponctuelle pour les objets de Sutz-Lattrigen et Hitzkirch Seematte, et intégrale pour les objets de Marin les Piécettes

⁷Odergarard N. and all., 2000, p.62-65

2.2-Traces de façonnage

Presque tous les objets présentent des traces de fabrication, en particulier en ce qui concerne le découpage de bois. On peut observer que les parties terminales de la plupart des objets ont une coupure régulière, avec souvent les bords légèrement inclinés (voir fig.13).

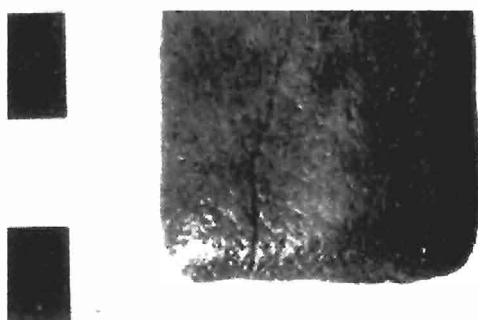


Fig.13 : Détail de la partie terminale d'un objet (SL 83785) avec les bords légèrement inclinés (échelle 1 :0,7).

Sur une grande partie des fragments de gaines de hache, on distingue bien le tenon de la couronne (voir fig. 14). Par contre, les traces d'outil, ne sont plus visibles à cause de l'usure de la surface des objets.

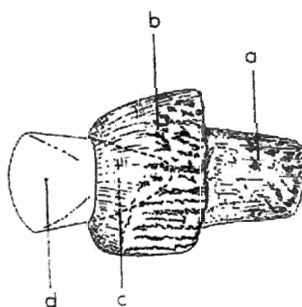


Fig.14 : Morphologie d'une gaine de hache à tenon en bois de cerf : a) tenon, b) couronne, c) douille, d) lame de pierre (Piel-Desruisseaux J.-L., 1990, p.169)

Sur certains objets, on peut aussi observer qu'une fraction de la partie spongieuse a été enlevée pour permettre l'insertion de la lame en pierre. Sur la gaine de hache compète (SL 83790), ce travail est très évident (voir fig.15), tandis que, sur les autres objets, la perte partielle de la partie spongieuse rend la lecture parfois plus difficile.

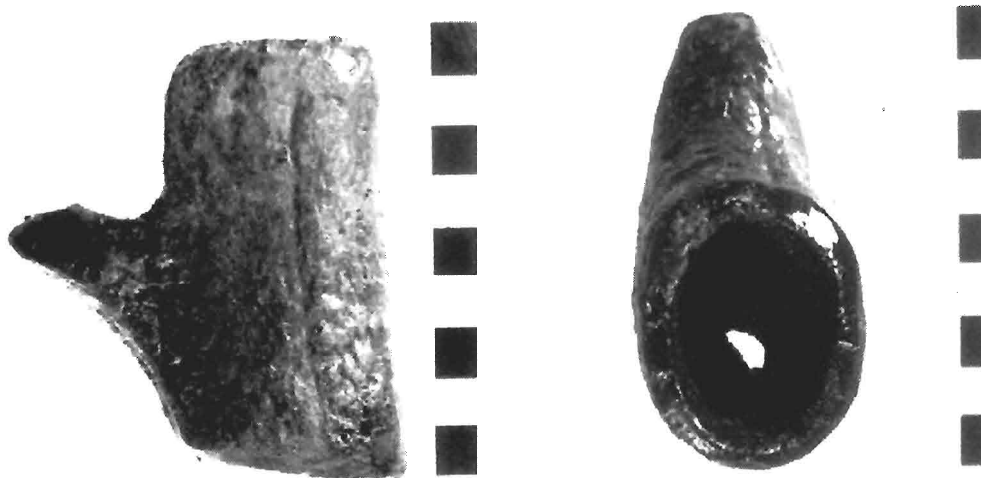


Fig.15 : Gaine de hache (SL 82790) creusée pour recevoir la lame de la pierre. (échelle 1 :1,4)

Deux des artefacts présentent des décorations incisées dans le bois. La moitié d'une gaine de hache à couronne en ergot (SL 82788) est décorée, sur les bords du fragment, par cinq incisions triangulaires (voir fig.16 et 17), tandis qu'un autre fragment de gaine de hache présente des incisions longitudinales sur la couronne (voir fig.18).

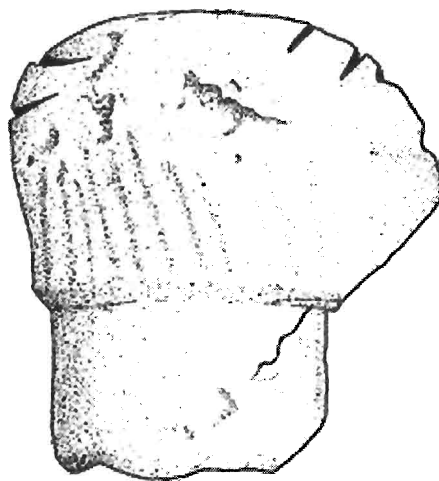


Fig.16 : Dessin de la gaine de hache décorée avec 5 incisions triangulaires.
(SL 82788)



Fig.17 : Détail de deux incisions
(échelle 1 :0,5)

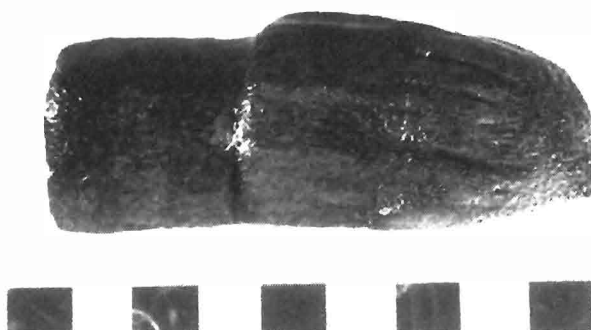


Fig.18 : Fragment de gaine de hache (SL 82787) avec des incisions sur la couronne (échelle 1 :1,25)

À partir des objets, il n'est malheureusement pas possible de déterminer s'il s'agit de bois de moue ou de bois de massacre, car aucun des artefacts ne présente de restes du pédicule, seul signe évident de l'abattage de l'animal.

3.État de conservation des objets

Tous les bois de cerf ont séjourné longtemps dans des conditions très humides et ont donc subi un processus de dégradation. **Ils sont tous gorgés d'eau, et on peut remarquer d'importantes différences de dégradation entre les objets provenant des différents sites, en particulier, entre les objets de Marin les Piécettes et les autres artefacts.**

3.1-État de conservation générale

Les andouillers de Marin les Piécettes sont presque complètement recouverts de terre, tandis que les autres bois de cerf sont assez propres, même si parfois un peu de sable est présent dans la partie spongieuse.

La totalité des objets présente une usure de surface plus ou moins grande et tous possèdent une certaine solidité et dureté. Généralement, l'usure est homogène sur toute la surface des

objets, à l'exception de quelques artefacts de Marin les Piécettes qui ont des zones plus usées.

Sur un petit nombre de bois de cerf, des parties de la surface sont absentes et, sur trois objets, on peut observer des dégradations qui ont peut-être été provoquées par des courants d'eau ou par des organismes vivants. Un objet présente des fines rainures à forme de V (SL 82788) (voir fig.19) et la surface de deux autres objets est parcourue par des galeries ouvertes (HS 0008 et HS 0009) (voir fig.20).

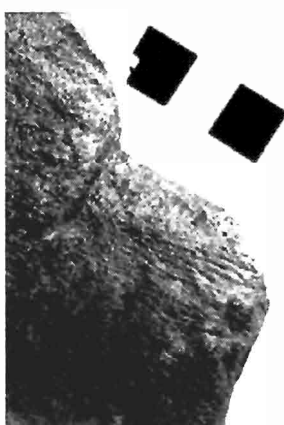


Fig. 19 : Surface d'une gaine de hache (SL 82788) avec des rainures à forme de V (échelle 1 :1,5)



Fig. 20 : Surface d'un andouiller (HS 0008) parcourue par des galeries ouvertes (échelle 1 :1,25)

La partie spongieuse des bois de cerf qui présente une circonférence complète est encore présente et bien conservée, à l'exception d'un andouiller (MP 14752), où cette partie est poudreuse et très fragile. Sur les autres objets par contre, la partie spongieuse est presque complètement disparue.

3.2-Fissures et cassures

Six objets présentent une ou plusieurs fissures (SL 82785, SL 82788, SL 82790, MP 14495, MP 14752, et MP sans numéro ; voir annexe 1), un petit andouiller en particulier (MP 14495) est recouvert de nombreuses fissures (voir fig.21)

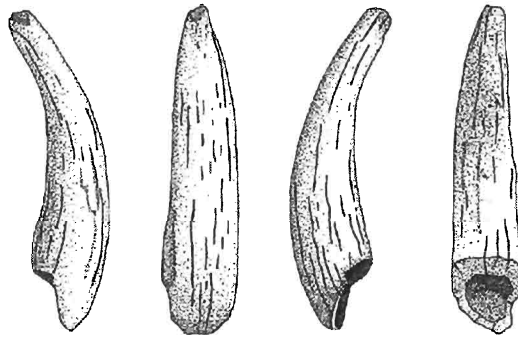


Fig. 21 : Dessin d'un petit andouiller (MP 14495) présentant beaucoup de fissures longitudinales

Deux artefacts sont fragmentés en plusieurs morceaux : une petite pointe d'andouiller cassé en quatre fragments (HS 0007 A) (voir fig.22) et un grand andouiller formé de deux morceaux (MP 14752) (voir fig.23). Dans les deux cas, les fragments sont jointifs et les cassures semblent anciennes.



Fig.22 : Pointe d'andouiller cassée en quatre fragments (HS 0007 A) (échelle 1 :1,6)



Fig. 23 : Andouiller cassé en deux fragments (MP 14752) (échelle 1 :3,4)

3.3-Algues et microorganismes

Plusieurs objets de Sutz-Lattrigen de Hitzkirch Seematte sont colonisés par des algues et des microorganismes. Au total, on a recensé cinq types d'organismes différents, dont deux ont pu être identifiés par François Straub, au laboratoire d'algologie du Lycée Blaise-Cendrars à la Chaux-de-Fonds. Les trois autres types de parasites n'ont pas été identifiés car aucun prélèvement n'a été effectué.

La plupart des objets de Sutz-Lattrigen sont recouverts par un fin voile vert (algue ?) qui est invisible à l'œil (voir fig.24).



Fig. 24 : Surface d'un objet (SL 82782) recouvert par un fin voile vert (échelle 1 : 0,15)

Quatre objets (SL 82756, SL 82788, SL 82790 et HS 0008) sont colonisés par une algue verte ramifiée, la *Cladophora* sp. (voir fig.25 et 26). La présence de cette algue sur les bois de cerf est assez importante et, dans un cas, elle recouvre environ un tiers de la surface de l'objet (voir fig.27)

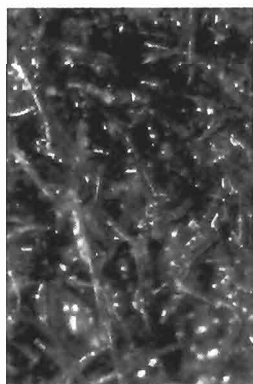


Fig. 25 : Détail de la *Cladophora* sp. vue sur microscope (échelle 1 : 0,08)

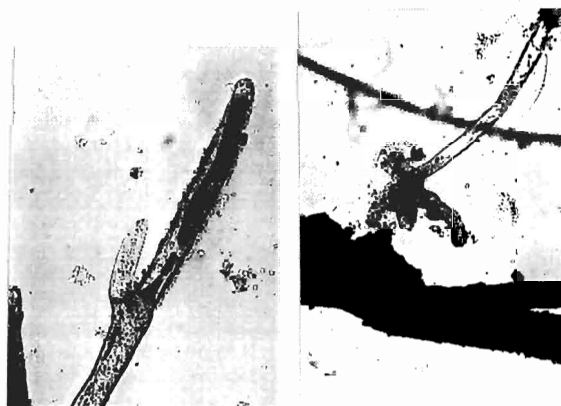


Fig. 26 : *Cladophora* sp. vue sous binoculaire (100x) (la forme arrondie des extrémités, la ramification et les racines à crampons sont typiques de cette algue)



Fig. 27 : Objet (SL 82756) colonisé par la *Cladophora* sp. (échelle 1 :1,25).

Sur la partie spongieuse du même objet (SL 82756), on peut aussi observer la présence de longs filaments blanchâtres (voir fig.28). Ce type de micro-organisme a été rencontré uniquement sur cet artefact.

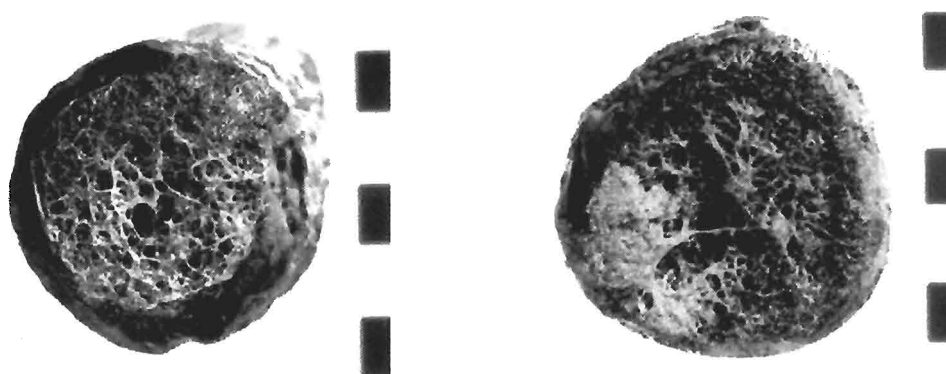


Fig. 28 : Partie spongieuse d'un objet (SL 82756) colonisé par des microorganismes blancs avec des très longs filaments (échelle 1 :1,5)

Un autre artefact (HS 0009) est colonisé par un champignon lignifié et ramifié. Ce champignon a pénétré profondément dans la structure du bois de cerf, en perforant la surface et en détruisant presque complètement sa partie spongieuse (voir fig. 29)

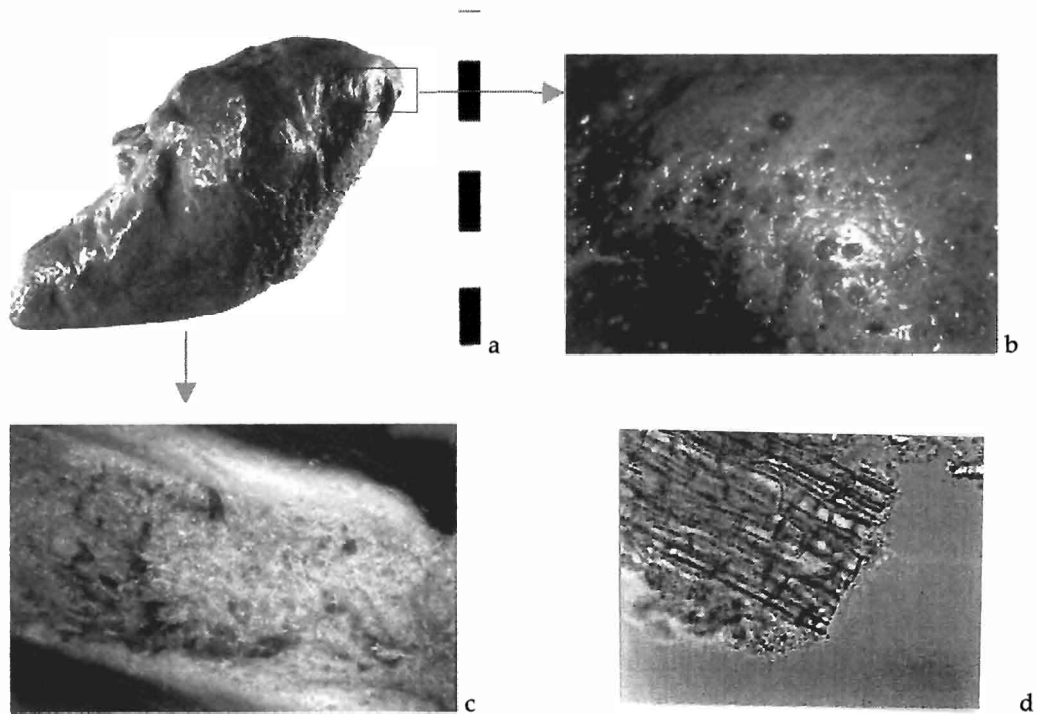


Fig. 29 : Objet (HS 0009) colonisé par un champignon lignifié (a) (échelle 1 :0,6). Ce champignon a envahi complètement la partie spongieuse du bois de cerf (c) (échelle 1 :0,6) et il perfore la surface de l'objet (b) (échelle 1 :0,25). d : champignon vu sous binoculaire (100x)

Une partie de la surface d'un petit fragment de gaine de hache (SL 82781) est colonisée par des microorganismes de couleur blanche-jaunâtre (moisissure ?) (voir fig.30)

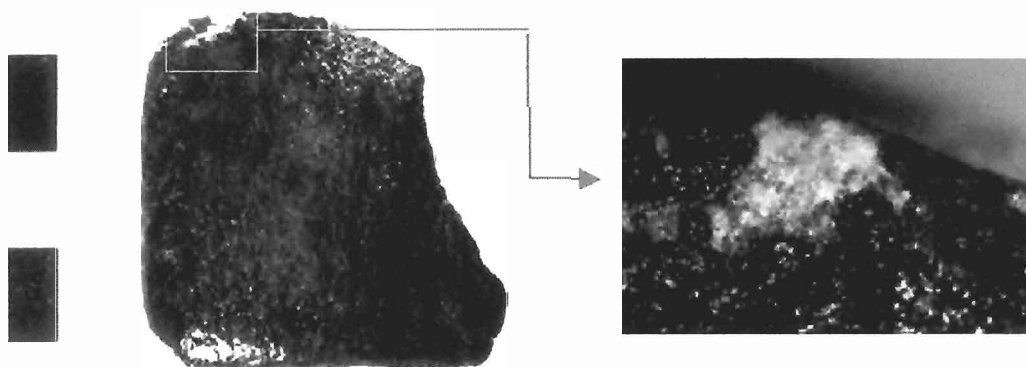


Fig. 30 : Petit fragment de gaine de hache colonisé par des microorganismes de couleur blanche-jaunâtre (échelle : fig. à gauche 1 :0,75, fig. à droite 1 :0,2).

Sur plusieurs objets de Sutz-Lattrigen et sur un objet de Hitzkirch Seematte, ont été retrouvés ce qui pourraient ressembler à des sortes de poils noirs, concentrés sur des petites zones du bois de cerf. Les analyses au FTIR (voir chap.3.5) ont démontrés qu'il s'agissait d'une substance protéinique. Toutefois il ne semble pas qu'il s'agisse de poils, puisque aucune écaille n'est visible et que les racines sont très différentes de celles des poils (voir fig.31). Ce dépôt a été retrouvé tant sur la surface des objets que sur la partie spongieuse du bois de cerf. En conséquence, il ne pourrait pas s'agire de restes de poils du velours.



Fig. 31 : "Poils" noirs vu sous microscope (échelle 1 :0,2) et sous binoculaire (400x et 100x)

3.4-Les objets de Marin les Piécettes

Si les objets de Marin les Piécettes n'ont pas de problèmes visibles de colonisation d'algues ou d'autres organismes, **ils sont les plus dégradés**. Cette dégradation est peut-être en partie due à la présence élevée d'oxyde de fer dans leur structure (voir chap.2), ce qui aurait pu changer la composition chimique de l'hydroxyapatite, et par les conditions du milieu d'enfouissement qui a vu plusieurs changements d'humidité. Souvent la surface est très usée et très tendre, même si l'ensemble donne l'impression d'être assez solide. Ces objets ont également tendance à perdre de la couleur dans l'eau.

3.5-État de conservation d'après des analyses au FTIR

Pour mieux comprendre l'état de conservation des artefacts et pour définir le degré de dégradation de la fraction organique et inorganique des bois de cerf, des analyses au FTIR ont été effectuées à la "Fachhochschule für Gestaltung, Kunst und Konservierung" de Bern.

3.5.1-Le FTIR

Le FTIR (Fourier Transform InfraRed spectroscopy) est une technique employée pour l'identification de substances organiques et inorganiques (uniquement un certain nombre de substances inorganiques peuvent être reconnues avec cette méthode)⁸. Le FTIR permet d'identifier un composé chimique par la mise en évidence de l'énergie liée à ses atomes⁹.

Un composé chimique est un assemblage d'atomes liés entre eux par des forces chimiques. Les atomes sont en constant mouvement et, si on fournit une énergie supplémentaire à cet assemblage, les mouvements vont s'amplifier. Le principe du FTIR consiste à irradier l'échantillon et à analyser les liaisons chimiques avec des rayons infrarouges (longueur d'onde entre 2,5 et 50 microns). Chaque liaison chimique est sensible à une fraction du spectre infrarouge ; elle absorbe une certaine quantité d'énergie et transmet le reste. En fonction de la longueur d'onde, l'enregistrement de l'énergie transmise (ou absorbée) donne un spectre dont chaque pic est caractéristique d'une liaison chimique⁹. L'analyse de tous les pics et la confrontation avec des spectres de référence permet l'identification de la substance⁸.

3.5.2-Les analyses

Pour l'analyse au FTIR des 25 bois de cerf employés pour la recherche, deux petits échantillons de chaque objet ont été prélevés : un en surface et l'autre dans la partie spongieuse. Aucune différence n'ayant été remarquée entre la partie spongieuse et la

⁸ Ferretti M., 1993, p.33

⁹ Rinuy A., 1994, p.226

surface de l'objet, en annexe seront reportés uniquement les spectres de la surface (sauf spécification). (voir annexe 2)

Pour avoir un spectre de confrontation valable, des analyses ont été réalisées sur un bois de cerf "récents", daté de 100 ans.

Après les analyses, il a été possible de déterminer que la fraction inorganique de tous les objets était encore assez bien conservée. La fraction organique était également présente, mais en quantité inférieure par rapport au bois de cerf récent.

Les pics correspondent au collagène, à environ 1640 cm^{-1} (amine I), 1540 cm^{-1} (amine II) et 1240 cm^{-1} (amine III) ce sont en effet raccourcis ou ils ont disparus. L'absorption correspondant à l'hydroxyapatite biologique à environ 1035 , 960 , 600 et 570 cm^{-1} pour les phosphates (PO_4), et à environ 1460 , 1420 , et 873 cm^{-1} pour les carbonates (CO_3), est par contre encore très évidente¹⁰ (voir fig.32)

On peut remarquer que dans presque tous les cas, le pic de l'amine III ($\sim 1240\text{ cm}^{-1}$) a disparu et que le pic de l'amine II ($\sim 1540\text{ cm}^{-1}$) est seulement ébauché. Dans le deuxième cas, le phénomène est dû à une augmentation du pourcentage de carbonate dans la structure des bois de cerf. Le voisinage d'un des pics de carbonate ($\sim 1420\text{ cm}^{-1}$) avec celui de l'amine II dérange la lecture de ce dernier.

Pour ce qui concerne les bois de cerf de Marin les Piécettes, on peut en plus observer que l'autre pic du collagène (amine I: $\sim 1640\text{ cm}^{-1}$) est légèrement déplacés vers la droite (~ 1580). Ce déplacement est toujours dû à une augmentation des carbonates dans la fraction inorganique, cette fois encore supérieur.

Mais pour s'assurer que la partie de la fraction organique soit encore présente dans ces objets, une goutte d'acide chlorhydrique a été déposée sur l'échantillon, afin de dissoudre les carbonate et faire ressortir les pics du collagène. L'analyse de l'échantillon traité à l'acide a permis de montrer un des pics du collagène (amine I) ; par contre le deuxième (amine II), n'est pas visible, à cause de la présence d'eau qui masque ce pic (voir fig.33)

¹⁰ Godfrey I.M., 2002, p.35

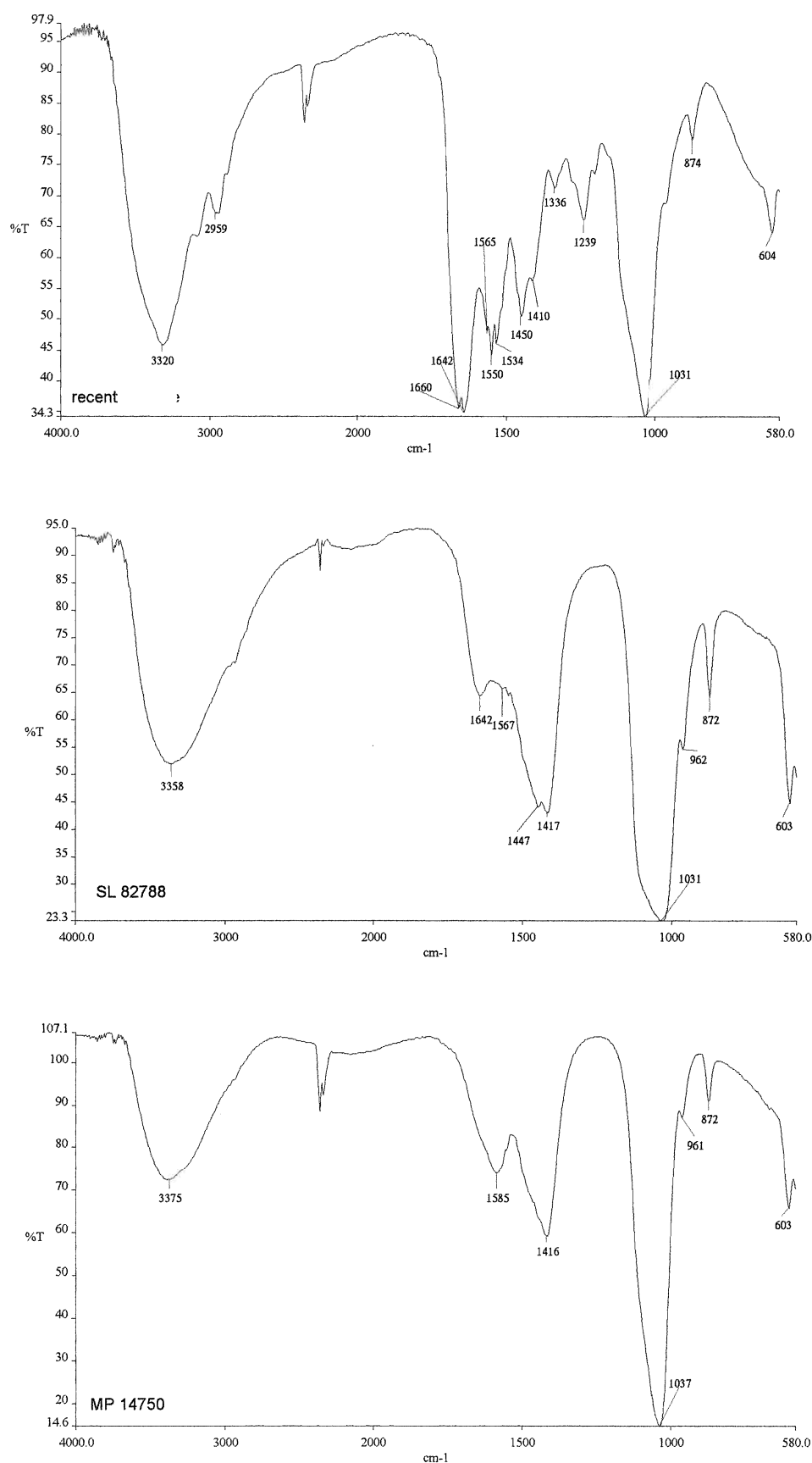


Fig. 32 : Spectres FTIR. Premier : spectre de référence (bois de cerf récent) ; deuxième : spectre représentatif des objets de Sutz-Lattrigen ; troisième : spectre représentatif pour les objets de Marins les Piécettes

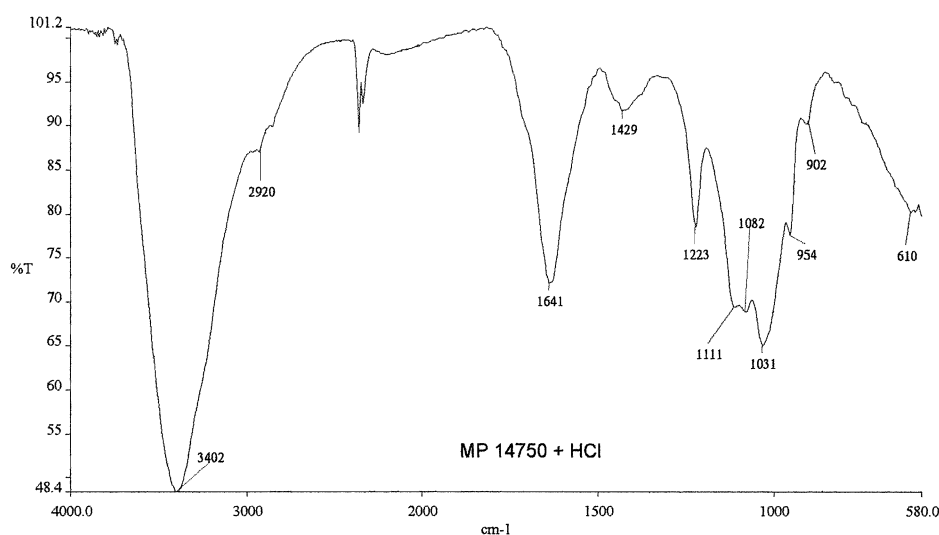


Fig. 33 : Spectre d'un andouiller de Marin les Piécettes traité à l'acide chlorhydrique.

Sur ce dernier échantillon, on peut aussi remarquer que l'acide chlorhydrique a complètement bouleverser tout le spectre relatif à la fraction inorganique du bois de cerf. L'acide a fortement dégradé l'hydroxyapatite.

Suite à ces résultats, on peut donc affirmer que la partie inorganique de tous les bois de cerf est encore assez bien conservée, tandis que la fraction organique, même si elle est toujours présente, a subi des dégradations plus importantes. **On peut aussi remarquer des différences entre les objets de Sutz-Lattrigen et ceux de Marin les Piécettes. Dans les deux cas, il y a eu une augmentation de carbonate dans leur structure et sur les artefacts de Marin les Piécettes, cette augmentation est supérieure et le collagène est présent en fraction inférieure.**

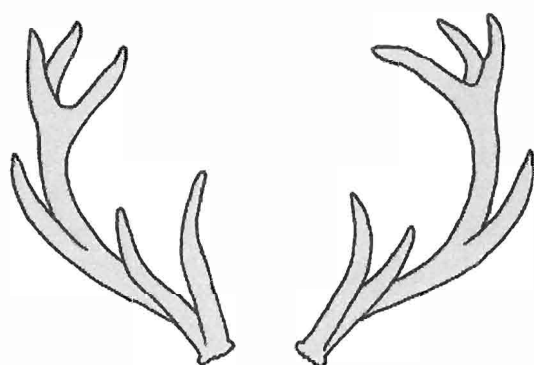
Un des bois de cerf de Hitzkirch Seematte présente une dégradation similaire à celle des objets de Sutz-Lattrigen (HS 0007A), tandis qu'un autre objet (HS 0008), bien conservé, présente un spectre très similaire à celui du bois de cerf récent. Le troisième objet présente un état de dégradation qui se situe à mi-chemin entre les bois de cerf de Marin les Piécettes et ceux de Sutz Lattrigen.

Malheureusement ces spectres n'offrent pas la possibilité de déterminer l'état de conservation du collagène qui est encore présent dans les objets. En effet, le FTIR permet de

détecter la présence des acides aminés qui composent le collagène, mais on ne peut pas savoir si la macromolécule du collagène est intacte ou dégradée.

3.6-Le pH des objets

Des mesures du pH aussi ont été effectuées pour déterminer s'il y avait des différences entre les divers objets. Les bois de cerf ont tout d'abord été plongés dans de l'eau déminéralisée fraîche pendant 48 heures, puis le pH de la solution a été mesuré. Aucune différence significative n'a été observée puisque toutes les valeurs de pH étaient comprises entre 7,24 et 7,73 (voir annexe 3).



Troisième partie

Les Traitements

1.- Le choix des traitements

Pendant leur long séjour dans l'eau, les bois de cerf ont subi un lent processus de dégradation qui a altéré leur structure chimique et provoqué un affaiblissement général de l'objet. **Le traitement de conservation a pour but de substituer progressivement l'eau contenue dans l'artefact, avec un produit capable de soutenir la structure interne de l'objet, de façon à éviter des retraits, des fissures et des déformations lors du séchage¹.**

Le produit employé devra être choisi selon les besoins du soutien du matériau et de son état de conservation. Il devra être compatible avec le bois de cervidé, pénétrer facilement dans sa structure, bien adhérer au matériau, lui donner une certaine résistance et flexibilité. Il devra être facile à appliquer, il ne devra pas être toxique et ne pas apporter des changements de couleur sur l'artefact².

La solubilité du produit dans l'eau représente aussi un critère assez important puisque, de cette façon, un échange direct avec l'eau contenue dans les cellules est possible. En plus, ces imprégnations peuvent être effectuées à grande échelle, dans des conditions de sécurité qu'aucun autre solvant ne peut offrir¹.

À ces critères, s'ajoutent tous les critères propres de la conservation restauration, comme la stabilité à long terme et la réversibilité, même si dans ce cas, l'imprégnation d'un produit jusqu'au cœur de l'objet rend la réversibilité plutôt relative.

Trois produits ont été choisis pour l'étude sur la conservation d'objets en bois de cerf gorgé d'eau : le polyéthylène glycol (PEG), le Primal[®] WS 24 et le Lactitol.

Pour déterminer le type de produits à employer pour cette recherche, une étude préliminaire a été réalisée. En constatant que la littérature à ce sujet est assez limitée, un questionnaire relatif aux pratiques courantes de conservation des bois de cervidés et des matériaux osseux gorgés d'eau a été envoyé à tous les laboratoires de conservation-restauration suisses.

D'après les réponses au questionnaire et les articles traitant du sujet, il a été observé que plusieurs produits sont employés pour le traitement de vestiges osseux gorgés d'eau. Les

¹ De La Baume, 1990, p.256-257

² Bunn M., 1987, p.28 ; Kres L.A and Lovell N.C, 1995, p.508-509 et Snow C.E. and Weisser T.D., 1984, p.142

produits les plus souvent nommé sont le polyéthylèneglycol (PEG) et le Primal[®] (dispersion acrylique). Mais on rencontre aussi souvent d'autres émulsions et dispersions acryliques comme, l'acétate de polyvinyle (PVAC), le Rhoplex[®] AC-33 et le Bédacryl[®] 277. On retrouve aussi des traitements par polymérisation d'un monomère par rayons gamma et à l'alcool-éther (utilisé uniquement dans le laboratoire de conservation-restauration du musée national suisse à Zurich. Ce traitement n'est appliqué que sur des objets composites : bois et bois de cerf). À ces produits s'ajoutent d'autres qui ne sont que plus rarement employés³.

En raison du nombre limité de pièces qui avaient été mises à disposition pour cette recherche, un choix entre ces différents produits a dû être réalisé.

Les traitements par rayons gamma et par la méthode de l'alcool-éther ont tout de suite été écartés, car il était impossible d'effectuer ces traitements dans la plupart des laboratoires de conservation-restauration. Dans le premier cas, c'est à cause de l'équipement, qui est particulier et très cher et, dans le deuxième cas, c'est à cause du danger de ce traitement pour l'homme, puisqu'il nécessite l'emploi d'un solvant explosif. En plus, pour ce qui concerne le traitement par rayons gamma, les résultats obtenus sont parfois douteux. Les traitements effectués au laboratoire de nucleART à Grenoble se sont généralement révélés positifs, tandis que les expériences réalisées par l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), n'ont pas été satisfaisantes, peut-être en raison d'un mauvais choix de monomère⁴.

Le choix s'est donc concentré sur les autres produits et, en finalité, c'est le **PEG et le Primal[®] WS 24** qui ont été choisis. Ces deux produits sont les plus utilisés dans les laboratoires de conservation-restauration suisse. Ils sont aussi les plus souvent nommés dans la littérature. Ils semblent donner de bons résultats pour le traitement de bois de cerf gorgés d'eau, et leur simplicité de mise en oeuvre rendent ces produits particulièrement intéressants pour une étude comparative.

³ Bunn M, 1987, p.28 ; Cronyn J.M., 1990, p.281-282 ; De La Baume S., 1990, p.259 ; Hiron X., 2001, p.3-4 ; Jenssen V., 1980, p.158-159 ; Johansson L.-U., 1986, p.134 ; Koob S.P, 1984, p.99-100 ; Kres L.A. and Lovell N.C., 1995, p.510 ; Murray H, 1987, p.26 ; Schweizerisches Landesmuseum Zürich, 1971, p.1-4, Saeterhaug R., 1998, p.255 ; Stone T.T and all., 1990, p.180-183 et Vasquez J., 1996, p.13

⁴ Questionnaire rempli par le laboratoire de conservation-restauration du Musée d'Archéologie et d'Histoire de Lausanne

À ces deux produits s'ajoute le Lactitol, un nouveau produit employé pour la conservation des bois gorgés d'eau qui, d'après les premières études, semble donner de très bons résultats. Il était donc intéressant d'essayer ce nouveau produit pour la conservation des bois de cerf gorgés d'eau.

En plus, pour compléter cette étude comparative, des objets seront séchés tranquillement, sans aucun traitement préliminaire.

Parallèlement à cette étude comparative de produits, plusieurs applications différentes seront effectuées. Malheureusement, en raison du nombre limité d'objets mis à disposition pour cette recherche, la variété de ces applications a dû être limitée.

Tous ces produits sont solubles dans l'eau et les traitements se font par immersion dans une solution aqueuse. En se basant sur les réponses du questionnaire, il ressort que le pourcentage de PEG et de Primal® dans l'eau est sensiblement le même dans tous les laboratoires suisses, cette concentration n'a donc pas été changée. Par contre, puisque aucun essai de traitement des bois de cerf n'a encore été effectué **avec le Lactitol, deux concentration différentes de ce produit seront essayées.** Puisque les concentrations employées pour les imprégnations des bois gorgés d'eau de Lactitol et de PEG sont similaires⁵ ; les concentrations de Lactitol ont été choisies de façon qu'elles se rapprochent à celles employées pour le traitement des bois de cerf gorgés d'eau avec le PEG.

Pour l'ensemble des produits, c'est-à-dire le PEG le Lactitol et le Primal®WS 24, différents temps d'imprégnation seront appliqués et des imprégnations sous vide partiel seront effectuées. Le choix du temps d'imprégnation se réfère aux différents temps décrits dans la littérature et à ceux appliqués dans les musées suisses. La décision d'effectuer des imprégnations sous vide partiel a pour but de déterminer si, de cette manière, il est possible de réduire le temps du traitement.

Pour finir, **un essai de séchage par lyophilisation sera accompli.** La lyophilisation est normalement déconseillée pour ce type d'objet, car il peut, sous l'effet du vide, complètement éclater pendant le traitement. Mais puisque des expériences positives ont été réalisées sur des artefacts en os, un essai a été tenté⁶.

⁵ Imazu S. and Morgos A., 1999, p.2

⁶ Ellam D., 1987, p.34-35 ; Saeterhaug R., 1998, p.254-256

2.-Produits et méthodes employés

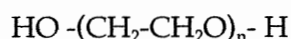
Comme on vient de le voir, trois produits ont été choisis pour cette recherche : le PEG, le Primal® WS 24 et le Lactitol. Au terme des imprégnations, les objets seront séchés soit par un séchage lent et contrôlé, soit par lyophilisation ou, pour ce qui concerne le Lactitol, par un séchage au four à une température de 50°C.

Dans ce chapitre, on décrit la nature et les principales propriétés de chacun de ces produits selon la littérature, ainsi que des méthodes appliquées. Pour le moment, aucune observation se réfère aux expériences effectuées.

2.1-Le polyéthylèneglycol (PEG)

Le polyéthylèneglycol est le produit qui, actuellement, est le plus employé pour la conservation des matières organiques gorgées d'eau. Depuis 1950, il est employé avec succès sur différents matériaux⁷.

Les polyéthylèneglycols sont des polyéthers issus de la polymérisation anionique et cathodique de l'oxyde d'éthylène. Ce sont des **macromolécules linéaires** de formule générale⁸ :



L'industrie chimique contrôle le degré de polymérisation des différents PEGs, qui peut varier entre 200 et 100000. **Selon le niveau de polymérisation, qui définit la taille de la macromolécule, et donc le poids moléculaire (n), les propriétés physiques du PEG changent.** La viscosité du produit croît en fonction de n. Lorsque n est compris entre 200 et 600, le PEG est liquide à température ambiante. Entre 1000 et 1450, il est solide mais mou, et à partir d'un poids moléculaire de 3350, le PEG est solide à température ambiante et a un aspect cireux⁹ (voir fig.34).

⁷ Imazu S. and Morgos A., 1996, p.235

⁸ Bilz M. and all., 1993, p.168

⁹ De La Baume S., 1990, p.257 ; Grattan D.W. and Clarke R.W., 1980, p.169.

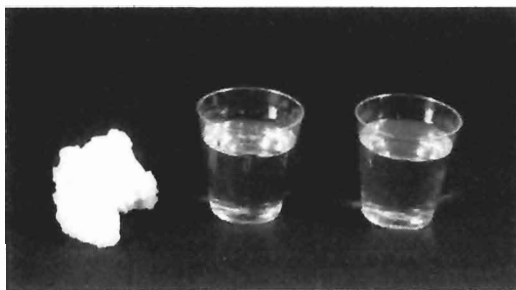


Fig. 34 : De gauche à droite : PEG 1000, PEG 400 et solution eau/PEG (18 % PEG 1000 et 2 % PEG 400)

Les différents poids moléculaires influencent aussi la pénétration du PEG dans le matériau. Les PEGs de petit poids moléculaire ($200 < n < 600$) peuvent pénétrer les structures très denses et permettent de maintenir les cellules de l'objet écartées. Après évaporation de l'eau, les cellules conservées écartées limitent le retrait de l'artefact. Ces types de PEG sont utilisés, par exemple, dans le cas de bois peu dégradés et des cuirs.

Les PEGs de haut poids moléculaire ($1500 < n < 4000$) remplissent les cavités cellulaires des matières organiques plus poreuses et très dégradées. Avec le départ de l'eau, le PEG se solidifie sur les parois cellulaires, en consolidant alors physiquement les tissus organiques. Ce type de PEG est souvent utilisé pour les bois gorgés d'eau très dégradés¹⁰.

Lorsque sur un même objet on retrouve deux types de dégradations ou de densité différentes, un traitement au PEG en deux temps peut être appliqué. Dans un premier temps, on traite l'artefact avec un PEG à bas poids moléculaire afin de pénétrer la structure la plus dense ; puis dans un second temps, on immerge l'objet dans une solution de PEG à haut poids moléculaire qui consolide les parties les plus dégradées¹¹. Sur le même principe, un mélange de deux PEGs à différents poids moléculaire peut être réalisé. C'est notamment le cas pour le traitement des bois de cervidés et des os, où un mélange de PEG 400 et de PEG 1000 est effectué¹².

¹⁰ De La Baume S., 1990, p.257

¹¹ Hoffmann, 1986, p.103-113.

¹² Réponses aux questionnaires envoyés aux laboratoires de conservation-restauration suisses

2.1.1-Propriétés du PEG

Les différentes études faites sur les PEGs, en particulier pour la conservation du bois, ont démontré qu'ils ont un **bon pouvoir consolidant** pour les matières organiques gorgées d'eau. Ils donnent un bon soutien à la structure interne de l'objet et lui permettent de garder sa forme sans beaucoup de retraits, de fissures et de déformations.

Les PEGs ont une bonne solubilité dans l'eau, mais ils sont **très hygroscopiques**, en particulier ceux avec un bas poids moléculaire. Les groupes hydrophiles (-OH) placés à chaque extrémité des molécules confèrent au PEG les propriétés des alcools, notamment la grande solubilité dans l'eau. Les nombreux ponts éther (-COC-) qu'ils contiennent favorisent la création de liaisons hydrogène qui contribuent fortement, elles aussi, à la solubilité dans l'eau. Les molécules d'eau fixées au PEG sont capables de se lier à d'autres molécules d'eau et confèrent au PEG des propriétés très hygroscopiques¹³. Avec l'augmentation du poids moléculaire, les propriétés de solubilité dans l'eau et le caractère hygroscopique du produit diminuent¹⁴.

Les objets traités avec une solution à bas poids moléculaire ne doivent pas être exposés à une humidité relative supérieure à 60 %, et les artefacts traités avec des PEGs à haut poids moléculaire ne doivent pas être exposés à une humidité relative supérieure à 80 %. Au-dessus de ces valeurs d'humidité, l'objet devient mouillé et le PEG a tendance à sortir lentement de l'objet¹⁵.

Les PEGs sont également utilisés comme des **cryoprotecteurs** : lors de la congélation, ils modifient la taille des cristaux et limite ainsi l'expansion de l'eau lors de sa transformation en glace¹⁶. Ils peuvent donc être employés comme pré-traitement pour la lyophilisation (voir chap.2.5)

La mise en œuvre du traitement au PEG est très facile. Toutefois, **les temps d'imprégnation sont assez longs**, en particulier pour ce qui concerne le bois (neuf mois pour une fine planche). D'autre part, les objets traités avec des PEGs à haut poids moléculaire présentent souvent une **surface noirâtre et cireuse**, ce qui peut, entre autres,

¹³ Chahine C. et Rottier C., 1999, p.76

¹⁴ De La Baume S., 1990, p.257

¹⁵ Grattan D., 1981, p.246

¹⁶ De La Baume S., 1990, p.263

rendre peu visible des fins détails de surface. En plus, pendant les imprégnations on a souvent des **problèmes de microorganismes** dans les bains. Parfois, ce problème peut être résolu avec des biocides, mais ces produits chimiques peuvent fausser des futures analyses, comme la datation au carbone-14¹⁷.

À long terme, les PEGs ont tendance à être instable et à se dégrader. Cette dégradation est provoquée par l'oxydation des groupes éthers de la macromolécule et se traduit par une diminution du poids moléculaire du PEG. L'oxydation est plus rapide à de hautes températures et à des humidités relatives élevées. S'il est mis en relation avec des matières organiques, le PEG semble être plus stable et, dans ce cas, la dégradation concerne presque uniquement sa surface¹⁸.

La dégradation du PEG provoque la formation d'aldéhydes, d'alcool et d'acides, ce qui peut poser des problèmes pour une conservation à long terme des bois de cervidés. En effet, les aldéhydes sont réactifs vis-à-vis des protéines, et les acides peuvent dégrader la fraction inorganique. En plus, l'acidité des PEGs et leur caractère oxydant causent des problèmes lors de la conservation d'objets organiques qui sont associés à des métaux. Les imprégnations au PEG effectué sur ce type d'objets provoquent une corrosion non négligeable des parties métalliques. Dans ces cas, des inhibiteurs de corrosion doivent être additionnés aux bains¹⁹.

2.2.-Le Primal® WS24

Le Primal® WS 24 est une **résine acrylique en dispersion colloïdale** qui est souvent employée pour la consolidation des os et des ivoires humides ou gorgés d'eau. C'est un polymère synthétique qui appartient à la famille des résines thermoplastiques²⁰. Les particules de Primal®, en suspension dans l'eau, se polymérisent avec le départ du solvant

¹⁷ Cronyn J.M., 1990, p.245 et p.258

¹⁸ Glastrup J., 1996, p.377-381 ; Hiron X.et Tran Q.K., 1998, p.143-149

¹⁹ De La Baume S., 1990, p.258 et 264

²⁰ Kres L.A. and Lovell N.C., 1995, p. 510

pour former un film translucide. La solution aqueuse est opaque et de couleur blanchâtre (voir fig.35).



Fig.35 : De gauche à droite : Primal® WS24 et solution de Primal® WS24 à 4 % dans l'eau.

2.2.1-Propriétés du Primal® WS24

Le Primal® WS24 possède de très petites particules ($0,03\mu$) et une basse viscosité, ce qui permet une **bonne pénétration** du produit dans la structure de l'objet. Il a un pH proche de la neutralité ($6,8 < \text{pH} < 7,2$) et sa température de transition vitreuse, assez élevée ($T_g = 39^\circ\text{C}$), **s'adapte bien à la dureté requise pour la consolidation des matériaux osseux**²¹. Après séchage, le film de la résine se solidifie. Il est résistant, flexible et **stable à long terme**, même dans des conditions climatiques inappropriées. D'autre part, il reste réversible dans l'acétone et le toluène plusieurs années après son application. Enfin, le film acrylique protège l'artefact des fluctuations climatiques, en créant une barrière contre l'humidité, et qui limite ainsi l'absorption de l'eau par le matériau²².

L'emploi d'une résine acrylique permet en cas de nécessité, de poursuivre ultérieurement une consolidation de surface avec des résines de la même famille, c'est-à-dire dans une solution de solvants non aqueux, comme le Paraloid® B72²³.

Par sa nature acrylique, le Primal® WS24 n'est **pas sensible à l'attaque des microorganismes**.

²¹ Koob S.P., 1984, p.99 et Horie C.V., 1987, p.111

²² Roberts J.D., 1984, p.21 ?, Koob S.P., 1984, p.101

²³ De La Baume, 1990, p.259

Généralement, les vestiges osseux sont traités avec une solution de Primal[®] à 2-5 % dans l'eau déminéralisée (la dispersion colloïdale contient une base solide de 36 %, la solution doit donc être diluée avec 10 ou 20 parts d'eau). Les objets peuvent soit être immergés dans la solution, soit le Primal[®] peut être appliqué directement à la surface de l'artefact. Dans ce dernier cas, la solution doit être appliquée plusieurs fois, pendant quelques semaines, sur l'objet, dans une humidité relative élevée. Les deux applications semblent donner de bons résultats pour la conservation des matériaux osseux²⁴.

Malheureusement, en ce moment, il est assez difficile de se procurer ce produit, car il est dans en phase d'étude, et l'on ne sait pas encore s'il sera retiré du marché ou si des modifications lui seront apportées²⁵. Le Primal[®] WS 24 peut, le cas échéant, être remplacé par d'autres produits similaires, comme le Primal[®] WS 50 ou le Rhoplex[®] AC 33.

2.3-Le Lactitol

L'emploi du Lactitol pour la conservation de bois gorgés d'eau est né en Asie. Ce type de traitement a été développé pour tenter de trouver un produit alternatif au PEG et à la saccharose. En effet, l'emploi de ces deux produits est particulièrement difficile dans des régions très humides, et pour cette raison, un nouveau traitement à base de sucre-alcool a été développé²⁶.

Le Lactitol est un **disaccharide artificiel, un sucre-alcool dérivé du lactose**, c'est le sucre du lait. Il est constitué de radicaux de glucose et galactose. Le Lactitol est un produit chimique de formule $C_{12}H_{24}O_{11}$, qui est synthétisé dans l'industrie par réduction hydrogène du lactose²⁷.

²⁴ Koob P.K., 1984, p.100-101 et Horie C.V. 1987, p.111

²⁵ Communication privée donnée par Christ Chimie AG.

²⁶ Imazu S. et Morgas A., 1999, p.7

²⁷ Imazu S. et Morgas A., 1996, p.237

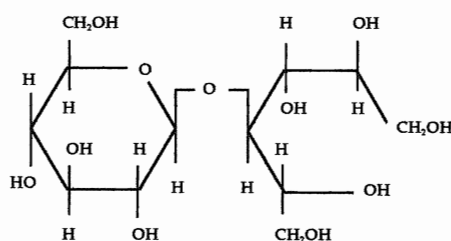


Fig. 37 : Structure moléculaire du Lactitol, 4-0-(β-D-galactocil)-D-glutol (Imazu S. and Morgos A., 1996, p.237)

À l'état solide, il est sous forme d'une poudre cristalline blanche, et une fois dissous dans l'eau, il devient transparent (voir fig.38).



Fig. 38 : Lactitol à l'état solide et solution aqueuse de Lactitol (30 %)

2.3.1-Propriétés du Lactitol

Le Lactitol se solubilise facilement dans l'eau. Il a une solubilité de 55 % à 25°C, et de 89 % à 70°C²⁸. Il possède un bas poids moléculaire ($M = 344$) ce qui permet **une bonne pénétration** dans le substrat organique. Il est **peu hygroscopique** et il reste stable à de hauts taux d'humidité relative. Il est **biologiquement et thermiquement stable** et pour cette raison, il est utilisé comme additif pour la nourriture, dans la médecine et dans l'industrie. Il possède également des propriétés antioxydantes ce qui permet d'effectuer des

²⁸ Imazu S. et Morgos A., 1999, p.8

traitements de matériaux organiques associés à des métaux sans que ces derniers ne subissent de corrosion²⁹.

Au moment du séchage, le Lactitol peut former quatre types de cristaux : le Lactitol anhydrite, monohydrate, dihydrate et trihydrate. Le monohydrate est stable à température ambiante et sa formation n'implique pas d'augmentation de volume. Par contre, la formation du trihydrate est accompagnée par une augmentation importante de volume³⁰. En conséquence, pour éviter des dégâts sur les objets, et de façon à se rapprocher du point de fusion du trihydrate et à favoriser la formation du monohydrate, le séchage doit être accompli à une température de 50°C³¹. Pendant cette période, aucun contrôle de l'humidité n'est effectué³².

Si le processus de séchage est insuffisant, des boules blanches (trihydrate) peuvent apparaître en surface plusieurs semaines après le traitement. Dans ce cas, l'objet doit être réchauffé à 50°C. Le trihydrate se fond et se recristallise en monohydrate³¹.

L'ajout de 10 % de Tréhalose, un autre sucre-alcool, dans la solution de Lactitol permet d'éviter la formation du trihydrate et dans ce cas, le séchage peut être effectué à température ambiante. En plus, cette mixture permet d'augmenter la concentration du sucre dans l'eau³³.

Les expériences effectuées en Asie avec ce produit, ont donné de très bons résultats pour la conservation des bois gorgés d'eau. La cristallisation du Lactitol à l'intérieur des cellules permet une bonne stabilisation dimensionnelle de l'artefact et après traitement, la couleur de l'objet reste naturelle. Si nécessaire, le sucre peut être facilement extrait du bois avec de l'eau³⁴.

²⁹ Imazu S. and Morgos A., 1996, p.237

³⁰ Imazu S. et Morgos A., 1999, p.9

³¹ Imazu S. et Morgos A., 1999, p.2

³² Communication personnelle de Setsuo Imazu

³³ Imazu S. and Morgos A., 2001, p.2-3 et Imazu S. and Morgos A., 2002, p.1

³⁴ Imazu S. and Morgos A., 1999, p.5

2.4.Séchage lent et contrôlé

Le séchage des matériaux organiques correspond à **l'extraction de l'eau qui est contenue en excès dans les structures**. Dans la majorité des cas, les matériaux nécessitent une consolidation préalable mais, lorsque les objets sont peu dégradés, on peut procéder directement à un séchage contrôlé³⁵.

L'eau est un solvant fortement polaire, ce qui amène ses molécules à se lier entre-elles par des forces assez élevées. En conséquence, **l'eau est peu volatile et possède une importante tension superficielle**. Cette tension superficielle provoque, lors de l'évaporation de l'eau, **des tensions sur les surfaces** où le changement d'état (liquide/gaz) a lieu. Sur des matériaux à structure poreuses (bois, os, etc.) ces tensions se répètent sur chaque portion de surface intérieure. Le départ de l'eau s'opère de façon progressive, suivant le diamètre des capillaires ; les plus petits limitent le plus longtemps l'évaporation. Des stress ultérieurs sont provoqués par le séchage hétérogène dans le volume de l'objet. La partie externe sèche plus rapidement que le cœur. Ce dernier sera donc encore gonflé quand la partie externe commencera à se rétracter. La tension et la pression dues à l'évaporation de l'eau provoquent des effondrements au sein des structures cellulaires. Ces contraintes sont responsables des retraits, des fissurations et des éclatements qui peuvent se produire sur l'objet³⁶.

Pour limiter ces effets néfastes au cours de l'évaporation de l'eau, le temps de séchage doit être effectué sur une plus longue période. De cette manière, les tensions internes seront moins fortes et l'objet sera mieux préservé. La vitesse d'évaporation de l'eau peut être réduite en jouant sur l'humidité relative. Lorsqu'un objet est placé dans une enceinte close de petite dimension, l'atmosphère se sature rapidement d'humidité et les échanges entre le liquide et l'atmosphère sous forme de vapeur, se trouvent alors ralentis. Un abaissement de la température diminue aussi la vitesse d'évaporation de l'eau, en ralentissant l'activité moléculaire. Si l'objet est placé dans une enceinte complètement hermétique, l'eau va se condenser et retomber et de ce fait, le séchage ne pourra pas être

³⁵ De La Baume S., 1990, p.260

³⁶ De La Baume S., 1990, p.260 ; Grattan D.W. and Clarke R.W., 1980, p.167

réalisé. Il est alors possible de placer, à l'intérieur de l'enceinte un corps hygroscopique, comme le gel de silice, qui absorbe la vapeur d'eau au fur et à mesure. Une autre solution consiste à déposer l'objet dans une boîte recouverte d'un film de plastique étirable. Dans ce cas, les échanges avec le milieu extérieur sont limités mais néanmoins possibles³⁷.

L'inconvénient majeur de cette méthode est sa durée. Car l'objet reste humide plusieurs semaines, dans des conditions d'oxygénation favorables au développement de microorganismes³⁷.

2.5.-La lyophilisation

La lyophilisation représente une autre technique de séchage des matériaux organiques.

La lyophilisation est un procédé de dessiccation d'une substance préalablement congelée, par sublimation de la glace³⁸. Sous l'effet combiné du vide et d'une température adéquate, la glace ne fond pas, mais se transforme directement en vapeur : elle sublime. L'objet est donc séché, en éliminant le problème de la tension superficielle de l'eau³⁹. De plus le traitement est de courte durée.

La glace est la forme solide de l'eau. Elle se forme à une température voisine de 0°C et sa tension de vapeur est très basse. La tension de vapeur d'un produit exprime la pression partielle du produit présent à sa surface. Elle augmente ou diminue avec la température. Quand la pression de l'espace environnant est égale à la tension de vapeur du produit, le liquide bout. Par exemple, l'eau à 100°C à une tension de vapeur de 760 mm de mercure qui correspond à la pression atmosphérique. À cette température, l'eau passe donc de l'état liquide à l'état de vapeur. Pour transformer la glace en vapeur, il faut donc baisser la pression autour de l'objet congelé (faire le vide), de manière à obtenir une pression qui soit égale à la tension de vapeur de la glace⁴⁰.

La sublimation peut être obtenue grâce à un lyophilisateur (voir fig.39).

³⁷ De La Baume S., 1990, p.260-261

³⁸ Amoignon J., 1996, p.7

³⁹ Cronyn J.M., 1990, p.80

⁴⁰ De La Baume S., 1990, p.262

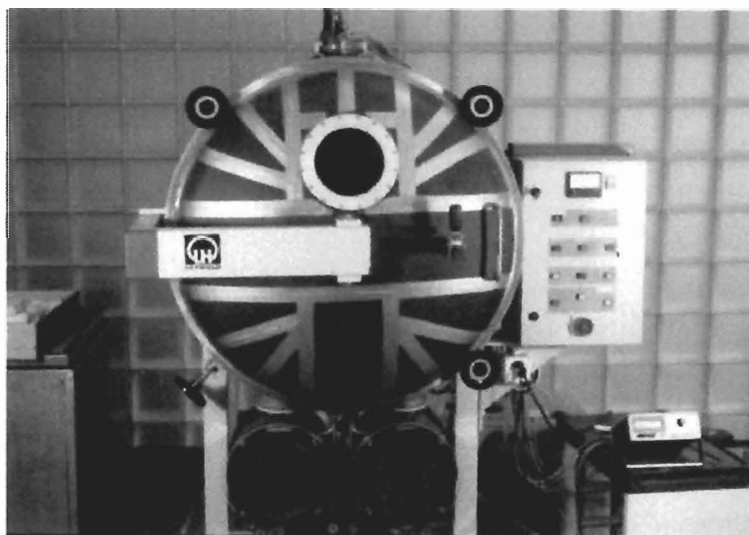


Fig.39 : Le lyophilisateur du laboratoire du Musée d'Archéologie et d'Histoire de Lausanne

Le lyophilisateur est un appareil qui est muni d'une enceinte hermétique, d'une pompe à vide, pour baisser la pression et faire le vide à l'intérieur de l'enceinte, d'un condensateur, appelé aussi piège à froid, et d'un compresseur, pour refroidir ce dernier. La fonction du condenseur est de capter la vapeur qui se forme pendant la sublimation. Il est le plus souvent constitué d'un serpentin en acier inoxydable qui est maintenu à une température inférieure à celle de la glace. En conséquence, sa tension de vapeur est inférieure à celle de la glace et la vapeur extraite se condense alors à nouveau sur ce serpentin⁴¹.

À la fin de la sublimation, lorsque toute la glace est sublimée, la température dans l'objet remonte : c'est la fin de la dessiccation primaire. Le matériau ne conserve alors que des traces d'eau au niveau moléculaire. **Si la sublimation est poussée plus loin, les objets peuvent se dessécher complètement, ce qui n'est pas favorable pour des matériaux organiques qui doivent garder un taux d'humidité entre 7 et 10 %⁴¹.** Si l'on n'arrête pas la lyophilisation au bon moment, les objets peuvent donc se fissurer et se casser. Il est cependant assez difficile de déterminer quand se situe la phase finale de la dessiccation primaire et cela nécessite beaucoup d'expérience.

⁴¹ De La Baume S., 1990, p.262

La congélation est la phase la plus délicate de ce traitement. En effet, en se solidifiant, l'eau augmente de volume et peut donc créer des dommages sur l'objet⁴². Dès que l'eau atteint le 0°C, des germes cristallins apparaissent dans la solution ; c'est le phénomène de la nucléation. Pendant un certain temps, la température de l'eau évolue beaucoup plus lentement et les germes s'agrandissent (voir fig.40). Les forces exercées par les cristaux de glace pendant leur croissance compriment le liquide et, dans le cas d'un récipient, ils tendent à se concentrer vers le haut, où la résistance est moindre. La solidification totale est donc hétérogène et l'augmentation de volume est bien visible à la surface du récipient⁴³.

Si par contre, l'eau est refroidie très lentement, on peut observer un phénomène de **surfusion**. Dans ce cas, l'eau commence à se solidifier à une température inférieure à 0°C, à environ -10°C. À cette température, apparaissent des germes de glace qui, dans l'espace d'une fraction de seconde, se propagent dans la totalité de la masse d'eau, provoquant paradoxalement une congélation très rapide. Ce phénomène est accompagné par une augmentation de température. Avec la surfusion, on obtient donc une multitude de petits cristaux régulièrement répartis, favorable à la lyophilisation, et l'augmentation de volume de la glace est réduite⁴⁴ (voir fig.40).

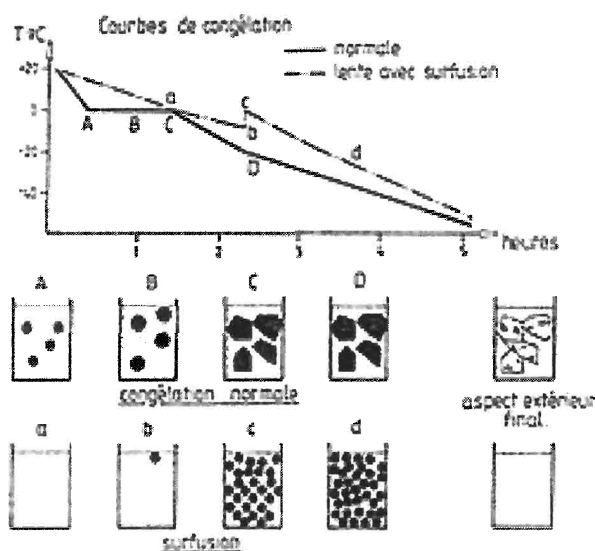


Fig.40 : Congélation et surfusion de l'eau (De La Baume, 1990, p.263)

⁴² Cronyn J.M., 1990, p.259

⁴³ Amoignon J., 1996, p.7-8

⁴⁴ Amoignon J., 1996, p.8-9

Un autre moyen pour contrôler la congélation est celui d'ajouter à l'eau un composé cryoprotecteur, comme le polyéthylèneglycol, qui modifie la taille des cristaux et limite ainsi l'expansion de l'eau en glace⁴⁵.

Dans des conditions climatiques particulières, comme celles des hivers canadiens, il est possible de réaliser des lyophilisations naturelles. Dans ce cas, l'air très sec, en combinaison avec l'énergie du soleil et des températures sous zéro, permet à la glace de se sublimer à pression atmosphérique⁴⁶.

Des expériences canadiennes ont été accomplies pour recréer artificiellement ces conditions climatiques, de façon à effectuer une lyophilisation sans vide. Pour faire ces recherches, un lyophilisateur, constitué de deux chambres froides, a été développée. Le principe de ce traitement est très simple ; si dans un système clos on possède deux chambres, une très froide (-40°C) et une autre à une température légèrement inférieure au point de congélation (-8°C), la glace sublime et migre de la chambre plus chaude à celle plus froide⁴⁷. Ce type de lyophilisation donne de bons résultats pour la conservation de bois gorgé d'eau, même si elle n'atteint pas la qualité de la lyophilisation traditionnelle. D'autre part, les temps de séchage sont plus longs⁴⁸.

3.-Démarche et application des traitements

Les 25 bois de cerf gorgés d'eau ont été traité par immersion dans des bains aqueux de PEG, de Primal® WS 24 et de Lactitol. Pour le Primal®, le traitement par immersion a été préférée à l'application directe du produit à la surface de l'artefact, pour permettre une meilleure pénétration du produit dans le matériau. Les imprégnations au Lactitol ont été effectuées sans l'ajout de Tréhalose. Les articles à ce sujet n'avait pas encore été publiés et n'ont été obtenus qu'une fois les objets traités.

⁴⁵ De La Baume S., 1990, p.263

⁴⁶ Cronyn J.M., 1990, p.261

⁴⁷ McCawley J.C, Grattan D.W. and Cook C., 1981, p.253



















⁴⁸ Grattan D.W. and Clarke R.W., 1980, p.193








Dans tous les bains, la concentration du PEG et du Primal® était constante. Les objets ont été imprégnés avec un mélange de PEG 400 à 2 % et du PEG 1000 à 18 %. Les bains au Primal® WS 24 étaient à une concentration de 4 %. Pour ce qui concerne le Lactitol, deux concentrations ont été testées. Les bains ont été effectués à des concentrations de 20 et 30 %. Les trois produits ont été dilués dans de l'eau déminéralisée.

Les temps d'imprégnation étaient variés. Les traitements au PEG ont été effectués pendant 2 mois, 1 mois et 2 semaines. Ceux au Primal® et au Lactitol pendant 1 mois et 2 semaines. Pour chaque traitement, des imprégnations ont été accomplies sous vide partiel sur une durée de 2 semaines. Le séchage par lyophilisation a été précédé par un traitement au PEG 400 et 1000, dans les mêmes concentrations que celles des imprégnations précédentes. Certains objets ont également été laissés sécher tranquillement et doucement, sans aucun traitement préliminaire.

Puisque le nombre des bois de cerf à disposition pour cette recherche n'était pas très élevé, seul deux objets ont pu être employés pour chaque type de traitement. Pour les traitements par immersions sous vide partiel et par lyophilisation, seul un objet a été traité. Pour permettre une confrontation entre les différents traitements, le choix des objets à été effectué de façon à avoir deux séries d'objets assez similaires. Faire ce choix n'était pas facile car, d'une part la quantité d'objets était insuffisante et, d'autre part, les dimensions, les formes et les état de conservation varient beaucoup d'une pièce à l'autre. Lorsque cela était possible, pour chacun des traitements un fragment de gaine de hache et un andouiller étaient associés. De cette manière, une série formée de fragments de gaines de hache et une série d'andouillers traités de diverses façon, était plus facile à comparer entre eux après traitement. En plus, pour chaque type de traitements on a essayé d'associer deux objets provenant de deux sites différents. Cette confrontation permet d'observer si un même traitement donnait les même résultats en fonction du milieu d'enfouissement.

Les objets ont été répartis de cette manière :

- PEG 400 (2 %) et PEG 1000 (18 %) pendant 2 mois :
SL 82786  et MP 14750 (grand fragment) 
- PEG 400 (2 %) et PEG 1000 (18 %) pendant 1 mois :
SL 82787  et MP 14752 
- PEG 400 (2 %) et PEG 1000 (18 %) pendant 2 semaines :
SL 82782  et SL 82788 (grand fragment) 
- PEG 400 (2 %) et PEG 1000 (18 %) pendant 2 semaines sous vide partiel :
SL 82756 
- PEG 400 (2 %) et PEG 1000 (18 %) pendant 1 mois + lyophilisation :
SL 82739 
- Primal® WS 24 à 4 % pendant 1 mois :
SL 82781  et MP sans numéro 
- Primal® WS 24 à 4 % pendant 2 semaines :
SL 82788 (petit fragment)  et MP 14495 
- Primal® WS 24 à 4 % pendant 2 semaines sous vide partiel :
HS 0009 
- Lactitol à 30 % pendant 1 mois :
SL 82779  et MP 14714 
- Lactitol à 30 % pendant 2 semaines :
SL 82778  et HS 0008 
- Lactitol à 30 % pendant 2 semaines sous vide partiel :
SL 82790 

- Lactitol à 20 % pendant 1 mois :
 SL 82785 et SL 82751 
- Lactitol à 20 % pendant 2 semaines :
 SL 82780 et HS 0007 A 
- Lactitol à 20 % pendant 2 semaines sous vide partiel :
 MP 14750 (petit fragment) 
- Séchage lent sans aucun prétraitement :
 SL 82784 et MP 14751 

3.1-Les imprégnations

Avant de commencer les imprégnations la terre agglomérée sur les objets a été éliminée avec un pinceau, sous un fin jet d'eau déminéralisée. Les algues et les microorganismes ont été enlevés de la même façon, à l'exception de la *Cladophora* sp. et du champignon lignifié, qui étaient fortement accrochés aux objets, et qui ont été enlevés avec une petite pincette et à l'aide d'une spatule en bois. Malheureusement le champignon lignifié n'a pas pu être éliminé complètement de l'objet. Une grande partie a été enlevée mais, puisqu'il pénétrait profondément dans la structure du matériau, son élimination totale risquait d'endommager l'objet. Le voile vert visible sur la surface des objets a été en grande partie enlevé à l'aide d'un pinceau, et seule une partie qui pénétrait profondément dans l'objet n'a pas pu être éliminée. Par contre, la moisissure et les microorganismes qui formaient des longs filaments blancs ont été enlevés facilement avec un pinceau. Avant de commencer le traitement, l'eau déminéralisée dans les bains a été changée régulièrement pour permettre d'enlever le maximum d'impuretés sur les objets.

Pendant le nettoyage et les imprégnations, aucun biocide n'a été ajouté à la solution aqueuse. Il était en effet important d'éviter d'introduire un élément extérieur qui aurait pu

influencer les traitements, puisque l'appariation de microorganismes dans les bains faisait partie de l'étude comparative sur ces produits, en apportant des critères de confrontation.

Une fois nettoyés, les objets ont été plongés dans les différents bains. La concentration des produits dans l'eau a été effectuée à l'aide d'une balance de précision et la quantité de solution a été calculée de façon à recouvrir complètement les objets à traiter.

Pour limiter l'apparition de microorganismes pendant les traitements, un film de polyéthylène a été déposé sur la surface du liquide de manière à réduire les échanges avec l'oxygène de l'air (voir fig.41). Ensuite, l'ensemble a été recouvert avec une feuille d'aluminium, qui empêche la lumière de pénétrer dans les bacs en plastiques (voir fig.42).

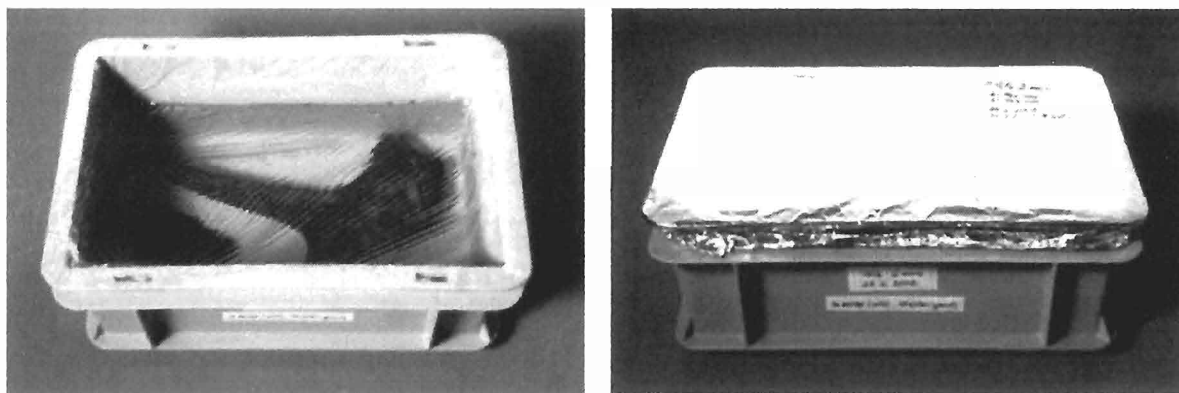


Fig. 41 et 42 : Imprégnation des objets. Un film de polyéthylène est déposé sur la surface du liquide et l'ensemble est recouvert par une feuille d'aluminium

Tous les quatre jours environ, les objets étaient pesés pour observer s'il y avait une augmentation de poids et donc une pénétration du produits dans le matériau. En même temps, les objets étaient retournés dans le bain, de façon à assurer une bonne pénétration du produit sur tous les côtés de la pièce.

3.1.1-Les imprégnations sous vide partiel

La démarche des traitements sous vide partiel était légèrement différente. Une fois que les objets ont été plongés dans les bains, ils ont été introduits dans une étuve à vide, et la

pression a été lentement réduite jusqu'à 500 mbar. Pour que l'abaissement de la pression soit optimale, le film de polyéthylène et la feuille d'aluminium non pas été appliquer sur les bacs. Avant d'effectuer le vide partiel une feuille d'aluminium a été appliquée sur la vitre de l'étuve pour empêcher la lumière de pénétrer.

Pour éviter des tensions sur les objets, en changeant plusieurs fois la pression autour d'eux, les bois de cerf n'ont pas été pesés pendant le traitement.

À la fin du traitement, la pression à l'intérieur de l'étuve à vide a été doucement rétablie à la pression atmosphérique.

3.2-Le séchage

Une fois les imprégnations terminées, les objets ont été rapidement rincés à l'eau déminéralisée, pour enlever le surplus de produits en surface, et ils ont été mis à égoutter.

Ensuite, les objets ont été séchés de trois manières différentes. Les objets traités au PEG et au Primal® WS 24 ont été séchés doucement dans une chambre humide. L'un des objets traité au PEG a subi un séchage par lyophilisation. Les bois de cerf traités au Lactitol ont été séchés dans un four à 50°C.

3.2.1-Séchage lent et contrôlé

Le séchage lent et contrôlé des bois de cerf a été effectuée dans une chambre humide, dont l'humidité relative a été abaissée doucement pendant six semaines.

La chambre humide était composée d'une boîte en plastique avec à l'intérieur un hygromètre pour contrôler le taux d'humidité relative et, des petits récipients contenant des cotons gorgés d'eau (voir fig.43). Cette eau permet d'élever le taux l'humidité relative dans la chambre humide. Le tout a été recouvert par une plaque de verre assez lourde, qui empêche la vapeur d'eau de s'échapper de la boîte. Pour réduire le risque d'une prolifération de microorganismes, la plaque de verre a été enveloppée dans une feuille d'aluminium (voir fig.44).

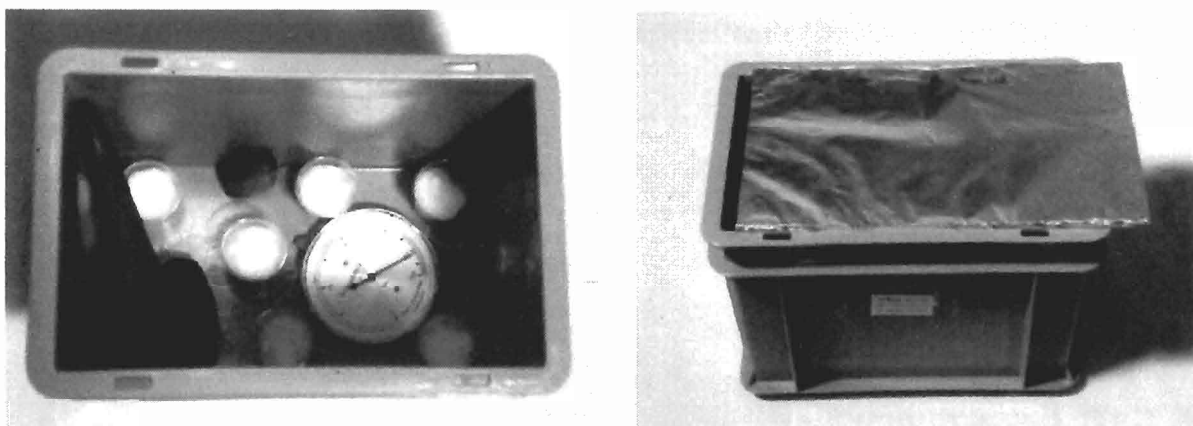


Fig. 43 et 44 : Séchage lent et contrôlé des bois de cerf dans une chambre humide

Lorsque l'humidité relative à l'intérieur de la boîte avait atteint 100 %, les objets ont été déposés. Pour diminuer les tensions lors de l'évaporation de l'eau, et pour éviter une stagnation du produit de traitement, les bois de cerf ont été placés verticalement dans la boîte, les capillaires étant tourné vers le bas (voir fig.43)⁴⁹.

La plaque en verre a été déposée sur la boîte en plastique, en laissant une petite ouverture qui permettait ainsi d'obtenir un échange avec le milieu extérieur, et évitait aussi une condensation de la vapeur d'eau sur l'objet et sur les parois de la boîte.

L'humidité a été réduite doucement, en agrandissant tous les jours un peu plus l'ouverture, de façon à baisser le taux d'humidité relative d'environ 1 % chaque jour. Le séchage a duré environ six semaines et il a été interrompu lorsque l'humidité relative avait atteint 60-55 %.

Pour contrôler la perte de poids des objets pendant le séchage, ils ont été pesés journallement.

3.2.2-La lyophilisation

Pour réduire l'augmentation du volume de l'eau lors de la congélation, l'objet à lyophiliser a subi un prétraitement au PEG.

⁴⁹ Suggestion du laboratoire de conservation-restauration du Musée d'Archéologie et d'Histoire de Lausanne

Ensuite l'objet a été placé dans un congélateur, à une température de -40°C . Après 24 heures, le bois de cerf a été sorti et il a été introduit dans le lyophilisateur.

Souvent les objets à lyophiliser sont enroulés dans un papier imbibé de PEG 400 avant la congélation. Ce traitement semble diminuer le risque de fissurations et de craquelures de surface lors de la sublimation de la glace. Cependant, pour ce traitement, il a été décidé de ne pas appliquer cette méthode, car il était important de pouvoir observer la pièce pendant sa phase de dessiccation.

Pour contrôler la lyophilisation, et déterminer la fin de la dessiccation primaire, quatre sondes thermiques ont été placées à l'intérieur de l'objet et en périphérie. Deux sondes ont été installées à l'intérieur de l'objet, dans la partie spongieuse du bois de cerf, et deux autres sondes ont été placées sur et sous l'objet (voir fig.45). En plus de ces sondes s'ajoutent trois autres de références, qui mesurent la température à l'intérieur de l'enceinte hermétique. L'humidité relative était aussi mesurée.



Fig. 45 : Bois de cerf (SL 82738) dans le lyophilisateur avec plusieurs sondes thermiques

L'objet, avec toutes les sondes thermiques a été déposé dans le lyophilisateur, et le vide à l'intérieur de l'enceinte a été appliqué (0,8 mbar).

Après 24 heures, lorsque la température à l'intérieur de l'objet était remontée, la lyophilisation a été arrêtée et l'objet a été remis doucement à pression atmosphérique.

Malheureusement, la lyophilisation est allée un peu trop loin, puisque la température dans l'objet avait atteint 19°C (voir annexe 6). Normalement, un traitement de ce type devrait être arrêté lorsque la température de l'objet se situe entre 10 et 12°C .

3.2.3-Séchage au four

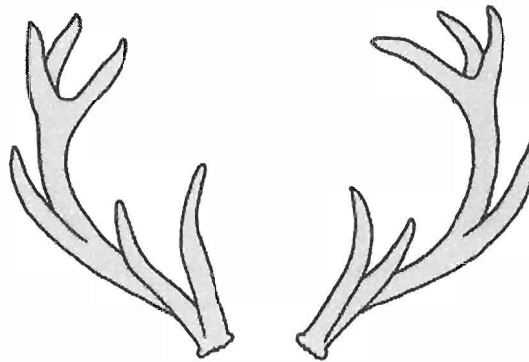
Les objets qui ont subi un traitement au Lactitol ont été séchés à une température de 50°C, ceci pour éviter la formation des cristaux di- et trihydrate et donc, pour favoriser la formation du monohydrate.

À la fin de l'imprégnation, les objets ont été sortis des bains, ils ont été rincés rapidement avec de l'eau déminéralisée, puis la surface des objets a été séchée légèrement et doucement avec du papier-ménage. Pour accélérer la cristallisation, de la poudre de Lactitol monohydrate a été déposée sur la surface des objets⁵⁰. Ensuite, les objets ont été placés verticalement dans un four à 50°C.

Même s'il n'était normalement pas nécessaire de contrôler le taux d'hygrométrie lors du séchage des bois traités au Lactitol, il a été décidé, dans ce cas, de placer un hygromètre à l'intérieur du four. Pour éviter une chute du taux d'humidité relative dans le four, et pour éviter une déshydratation des objets, des récipients remplis d'eau ont été déposés près des objets et l'aération du four a été complètement fermée. Pour éviter de créer des tensions dans les objets, il aurait été prévu de baisser doucement le taux d'humidité relative. Malheureusement, la porte du four n'était pas complètement étanche, et le maximum d'humidité relative qu'on pouvait obtenir à 50° C était de 60-55 %. Cette intention n'a pas pu être suivie et les objets ont séchés plus rapidement que prévu. Les bois de cerf les plus petits étaient secs après 5 heures et les plus grands après 21 heures.

À la fin du séchage, le four a été éteint, et la température autour des objets s'est abaissée doucement.

⁵⁰ Imazu S. and Morgos A., 1999, p.2



Quatrième partie

Résultats et interprétations

1.-Méthode d'évaluation des résultats

Pour évaluer l'efficacité des produits employés pour cette recherche, et pour effectuer une étude comparative entre les différents produits et méthodes appliqués, plusieurs critères entreront en considération.

Les différents traitements seront évalués selon la consolidation apportée aux bois de cerf (pénétration du produit, formation de fissures et cassures, etc.), selon la stabilité dimensionnelle des objets après leur traitement (retraits et déformation) et selon l'aspect final des artefacts (couleur et lisibilité des détails). D'autre part, la facilité de mise en oeuvre et le déroulement de ces traitements seront deux autres critères importants qui entreront dans cette évaluation.

L'interprétation des résultats sera faite à partir d'observations, de calculs, de mesures et d'analyses accomplies avant, pendant et après les traitements.

Avant de commencer les imprégnations, tous les objets ont été observés sous microscope binoculaire, puis ils ont été décrits, photographiés, dessinés, mesurés et pesés. La même opération a été effectuée après les traitements, et dans certain cas, aussi pendant traitement. Ainsi, à la fin du traitement, les données pourront être confrontées.

Les qualités de réversibilité et de stabilité à longs termes de chacun des produits ont également été prisent en considération.

Le nombre limité d'objets mis à disposition pour cette étude a parfois rendu l'interprétation des données assez difficiles. Dans l'idéal, cette étude comparative des différents traitements à appliquer pour la conservation des bois de cerf gorgés d'eau, aurait dû s'appuyer sur un grand nombre d'objets, de dimensions et forme similaires. Seul un nombre élevé d'objets aurait pu permettre d'établir une évaluation critique des différents produits de traitement et de leur efficacité lors du séchage des bois de cerf. Or, pour cette étude, seul deux objets pouvaient être mis en parallèle ce qui ne suffisait pas à tirer des conclusions ou faire une généralité des résultats obtenus. En effet, beaucoup de facteurs différents peuvent influencer les résultats finaux, comme entre autres, l'état de conservation de l'objet, le milieu d'enfouissement, etc. De ce fait, il n'était pas possible de

déterminer si le résultat obtenu sur les bois de cerf après leur traitement n'était dû qu'à la méthode ou au produit employé.

La forme et les dimensions variées des objets employés dans cette recherche compliquèrent également la confrontation entre les différents traitements.

Mais, d'un autre côté, cette hétérogénéité a permis de faire des observations intéressantes sur les différentes réactions des objets lors de la phase de séchage.

2.-Observations pendant les traitements

Le déroulement des traitements fait partie des critères de confrontation de cette étude. Dans ce chapitre, on décrira les observations et les difficultés rencontrées lors de l'application des produits et des méthodes employées.

2.1-Apparition de microorganismes dans les bains et lors du séchage

Aucun biocide n'a été employé pour les imprégnations des bois de cerf gorgés d'eau. Mais, pour limiter la formation de microorganismes dans les bains, un film de polyéthylène et une feuille d'aluminium ont été déposés sur les bacs des imprégnations, de façon à réduire les échanges d'oxygène et de lumière dans la solution.

Malgré ces précautions, **des microorganismes ont contaminé certains bains de PEG et de Lactitol**. Toutefois, la quantité de microorganismes présents dans les bains était assez réduite. Seul quelque petit agglomérat de microorganismes, sous forme de voile blanchâtre et translucide, étaient visibles dans la solution (voir fig.46). Dans presque tous les cas, les microorganismes sont apparus environ dix jours après le début du traitement.

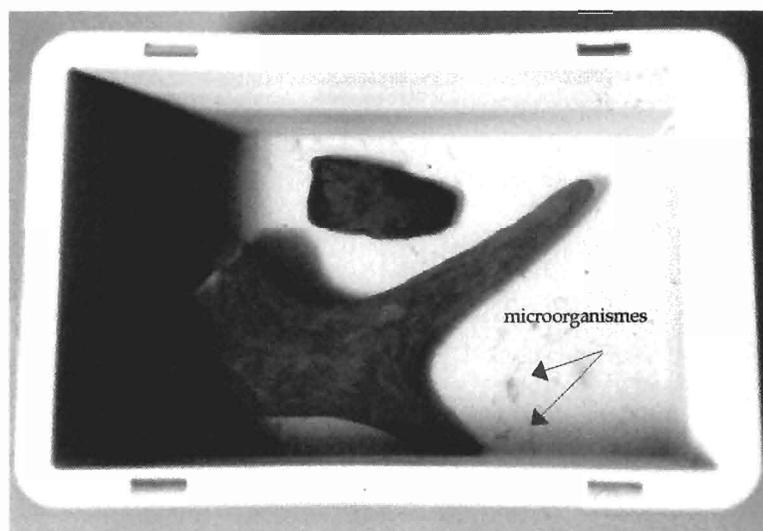


Fig.46 : Bain de PEG contaminé par des microorganismes.

Tous les bains de PEG ont été contaminés par des microorganismes. Les bains d'imprégnation sous vide partiel et de deux semaines présentaient des traces minimales de microorganismes, tandis que les bains de durée d'un et de deux mois présentaient une quantité de microorganismes un peu supérieure (voir fig.46).

En ce qui concerne les traitements au Lactitol, tous les bains d'imprégnations à 30 % ont été contaminés. L'imprégnation de deux semaines présentait des traces minimales de microorganismes, tandis que l'imprégnation d'un mois et celle sous vide partiel présentaient une quantité de microorganismes similaires à celle des bains de PEG de la durée d'un et de deux mois. Les microorganismes apparus dans le bain de Lactitol sous vide partiel présentaient des différences par rapport à tous les autres microorganismes. En effet, ces derniers se sont développés à la surface du liquide, tandis que, dans tous les autres cas, les microorganismes nageaient dans la solution.

Des trois imprégnations de Lactitol à une concentration de 20 %, seule celle d'un mois a été contaminée par des microorganismes, qui étaient présents sous forme de traces.

Aucune trace de microorganismes n'a par contre été observée dans le bain de Primal® WS 24.

Grâce à François Straub, et au laboratoire d'algologie du Lycée Blaise-Cendrars à La Chaux-de-Fonds, ces microorganismes ont pu être identifiés.

Le voile blanchâtre de microorganismes qui était présent dans les solutions de PEG et de Lactitol sont formé par un mélange de bactéries et de champignons ramifiés. Ces derniers ne sont toutefois présents qu'en petites quantités (voir fig.47).

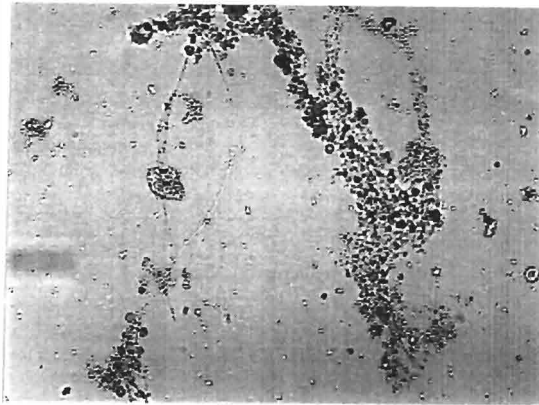


Fig.47 : Microorganismes, présents dans les bains de PEG et de Lactitol, vus sous binoculaire (100x). On peut observer un voile de bactérie et deux filaments de champignons.

Dans l'ensemble des bains de traitement, plusieurs types de bactéries étaient représentés, dont le plus nombreux étaient les spirilles, les bacilles et les coques. L'identification précise du champignon n'a pas pu être déterminée. Beaucoup de spores rondes ont pu être observées, mais aucune trace de sporanges (organe de reproduction des champignons), indispensable pour l'identification, n'a été trouvée.

Dans les bains de PEG, on a parfois retrouvé des protozoaires (amibes et flagellés). Ces microorganismes sont absents dans les bains de Lactitol.

L'amalgame de microorganismes présent dans les bains de Lactitol à 30 %, effectué sous vide partiel, était uniquement constitué de champignons ramifiés, comme ceux retrouvés dans les autres imprégnations (voir fig.48). Aucune bactérie n'était présente.

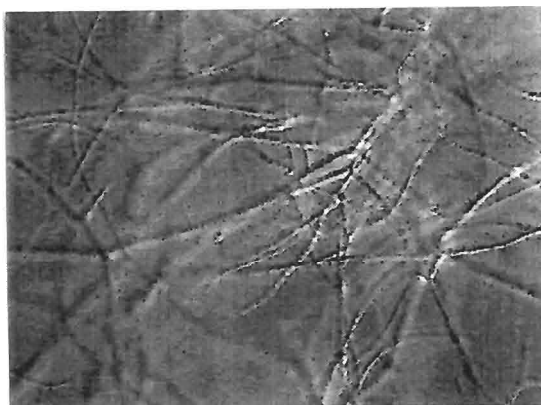


Fig.48 : Filaments de champignons présents dans un bain de Lactitol, vus sous binoculaire (400x)

Peu de problèmes de microorganismes n'ont été rencontrés lors du séchage des objets. C'est en effet uniquement sur deux objets, que l'on a pu observer l'apparition de microorganismes : sur un grand andouiller (MP 14750) traité au PEG pendant deux mois, et sur l'objet qui a subi un séchage par lyophilisation. Dans les deux cas, les microorganismes, qui avaient l'aspect d'un voiles blanchâtre, se sont développés sur la partie spongieuse du bois de cerf (voir fig.49 et 50).

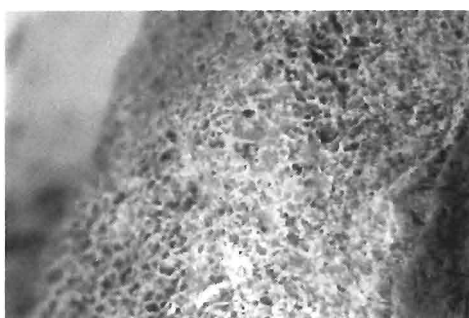


Fig.49 et 50 : Microorganismes apparus sur deux objets lors du séchage. Fig.49 : andouiller (MP 14750) traité au PEG pendant deux mois et laissé séché tranquillement. (échelle 1 :0,5) Fig.50 : bois de cerf (SL 82739) traité au PEG et lyophilisé (échelle 1 :0,1)

Après observation sous binoculaire, on a pu constater qu'il s'agissait des mêmes champignons que ce qui avait été retrouvé dans les bains de PEG et de Lactitol (voir fig.48).

2.2-Observations pendant la lyophilisation

Le bois de cerf qui a été lyophilisé a subi un prétraitement dans un mélange constitué de PEG 400 (2 %) et 1000 (18 %). Après un mois d'imprégnation, il a été congelé à une température de -40°C .

Lorsque l'objet a été sorti du congélateur, on a alors constaté que la congélation ne s'était pas déroulée comme voulue, puisque **pendant le refroidissement, plusieurs fissures s'étaient formées sur l'objet.**

Le but du prétraitement au PEG était de diminuer l'augmentation de volume de l'eau lors de la congélation. Le PEG est un cryoprotecteur qui modifie la taille des cristaux d'eau et limite donc l'expansion de l'eau lors de la congélation. Mais, malheureusement dans ce cas, le PEG n'a pas empêché l'augmentation de volume et l'artéfact a été endommagé. La cause du mauvais déroulement de la congélation est peut-être due à la faible concentration de PEG 400 dans le bain (2 %), qui n'a pas permis un bon contrôle de la congélation.

Le lyophilisateur du laboratoire du Musée d'Archéologie et d'Histoire de Lausanne est muni d'une petite fenêtre, par laquelle il a été possible d'observer l'objet pendant le traitement. Pour permettre à la glace de sublimer, la pression à l'intérieur de l'enceinte du lyophilisateur doit être abaissée pour faire le vide. Pendant cette phase, on a pu remarquer que **les fissures, qui s'étaient formées lors de la congélation, s'allongeaient au fur et à mesure que la pression s'abaissait.**

Une fois la lyophilisation terminée, l'objet a été sorti du lyophilisateur et on a pu observer que **certaines fissures s'étaient transformées en cassures.** Certaines parties de la surface compacte du bois de cerf s'étaient détachées de la partie spongieuse.

Il est possible que de meilleurs résultats puissent être obtenus, en augmentant la concentration de PEG dans les bains et en lyophilisant les objets sans vide, mais, toujours en raison du nombre restreint d'objets, aucune expérience dans ce sens n'a été effectuée.

2.3-Problèmes rencontrés avec les traitements au Lactitol

Les imprégnations au Lactitol se sont bien déroulées, mis à part l'apparition de quelques microorganismes dans certains bains. **Des problèmes ont par contre été rencontrés lors du séchage et après celui-ci.**

Pour empêcher la formation des cristaux di- et trihydrate qui sont accompagnés par une augmentation de volume, et qui pourront donc endommager les objets, le séchage des bois de cerf traités au Lactitol doit être effectué à une température de 50°C

Les artefacts ont été séchés dans un four. Puisque le séchage est la phase la plus délicate du traitement, l'intention initiale était de baisser l'humidité relative doucement pour éviter de provoquer des chocs sur les objets. Malheureusement, le four n'était pas complètement étanche, et le maximum d'humidité relative que l'on pouvait obtenir à 50°C était de 55-60%. **Les bois de cerf ont alors séché plus rapidement que prévu.** Pour remédier à cette situation, le séchage aurait pu être ralenti, en plaçant les objets à l'intérieur d'une chambre humide, similaire à celle employée pour le séchage lent et contrôlé, qui serait ensuite introduit dans le four, ou encore en chauffante la chambre humide par une source de chaleur, comme une lampe infrarouge. Cependant, ces méthodes de séchages présentaient aussi des inconvénients. Dans le premier cas, l'abaissement de l'humidité relative aurait impliqué l'ouverture régulière du four, ce qui aurait provoqué des fluctuations de température et d'humidité relative pendant le traitement, ce qui n'était pas idéal. Dans le deuxième cas, maintenir une température fixe et stable à 50°C n'aurait pas été très évidente à réaliser. D'autre part, la partie la plus proche de la source de chaleur aurait reçu plus de chaleur que la partie la plus éloignée, et le séchage n'aurait pas été homogène.

Il est également possible que des objets mis en permanence dans un milieu très humide et chaud, puissent se dégrader. En effet, dans plusieurs cas, l'eau et la chaleur favorisent la dégradation des matériaux. C'est par exemple le cas de la dénaturation des cuirs, où le collagène subit des changements irréversibles lorsqu'il est chauffé en présence d'eau¹. D'autre part, le collagène des os est volontairement dégradé pour fabriquer de la gélatine : la colle d'os. Pour obtenir cette gélatine, les os sont immergés longtemps dans de l'eau bouillante.

¹ Young G.S., 1998, p.66-67

On ne peut donc pas exclure une dégradation de la fraction organique des bois de cerf lorsque le séchage est accompli à une température de 50°C, et à des taux d'humidité relative élevés.

Un autre problème relatif au séchage des objets dans un four, est représenté par la **difficulté de comprendre à quel moment l'objet est complètement sec**. La surface de l'objet sèche assez rapidement, tandis que l'eau à l'intérieur du bois de cerf s'échappe plus lentement. Les objets ont donc une apparence sèche, mais de l'eau libre est peut-être encore présente. D'autre part, si les objets sont laissés trop longtemps dans le four, ils peuvent se déshydrater excessivement. Dans ce dernier cas l'eau, présente au niveau moléculaire, peut également s'évaporer en affaiblissant la structure interne de l'objet. Des fissures et des cassures peuvent alors se former dans le bois de cerf.

Pendant le séchage au four on a pu observer que le liquide avait la tendance à se concentrer dans la partie basse de l'objet. La partie du bois de cerf qui était tournée vers le haut séchait plus rapidement que la partie appuyée sur le support. En conséquence, le Lactitol a très probablement migré vers la partie basse de l'objet. **La partie supérieure du bois de cerf aura donc une concentration de Lactitol inférieure à la partie tournée vers le bas.**

Par contre, ce phénomène n'a pas été observé lors des séchages lents et contrôlés, où le départ de l'eau était plus homogène.

Une fois le séchage terminé, et que les objets ont été sortis du four, de nouvelles complications sont survenues. **Environ une semaine après la fin du séchage, une volumineuse configuration cristalline est apparue sur la base d'un andouiller (MP 14714) (voir fig.51 et 52).** Cet andouiller avait été traité par immersion dans un bain de Lactitol à 30 % pendant un mois. Très probablement, de l'eau était encore présente à l'intérieur du bois de cerf, et une partie du Lactitol était encore à l'état liquide. Puisque le milieu n'était plus à une température de 50°C, **le cristal trihydrate a pu se former**. La formation de ce cristal est accompagnée par une augmentation de volume et le sucre est alors apparu à la surface de l'objet.

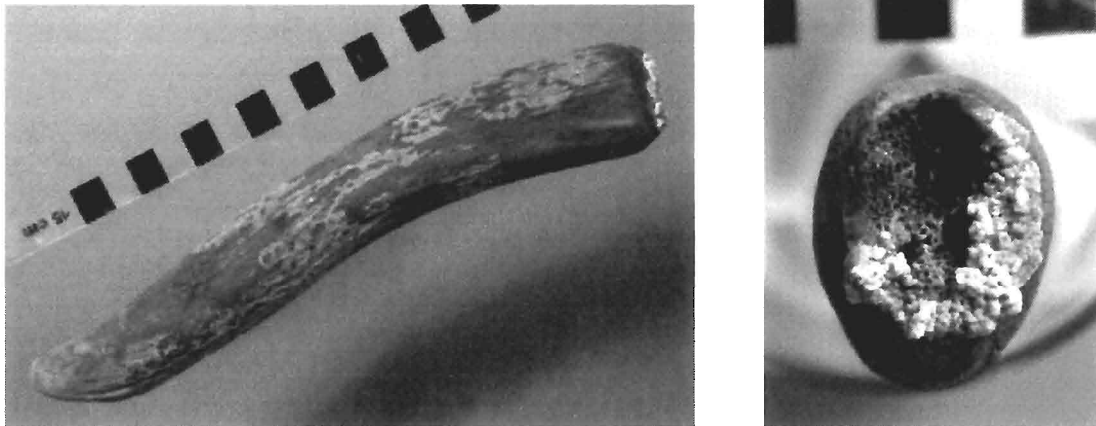


Fig.52 et 53 : Cristallisation du Lactitol trihydrate sur la base d'un andouiller (MP 14714)
(échelle fig. 52 1:2,5 et fig. 53 1:1)

Le trihydrate s'est cristallisé sous forme de plusieurs boules blanches dont l'intérieur du cristal est vide (voir fig.55). Pendant la cristallisation du sucre, une partie de la surface du bois de cerf a été soulevée et abîmée (voir fig.54)

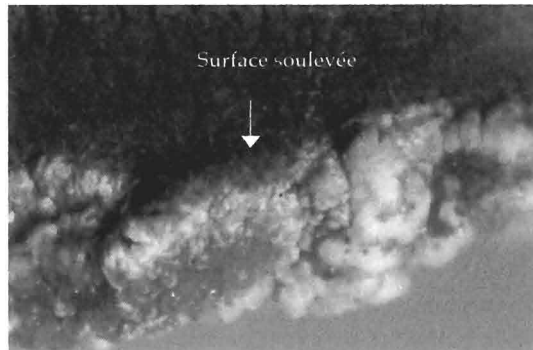


Fig.54 : La cristallisation du Lactitol trihydrate a soulevé et abîmé une partie de la surface de l'andouiller (échelle 1 :0,15)

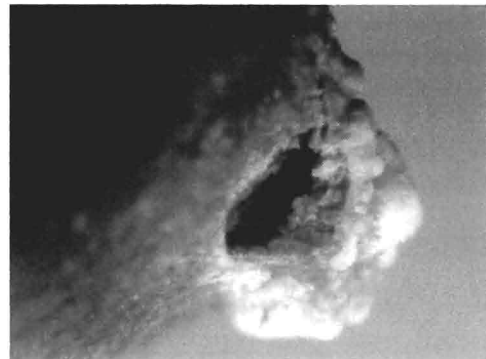


Fig.55 : Le Lactitol trihydrate se cristallise sous forme d'une boule blanche, dont l'intérieur est vide (échelle 1 :0,2)

La partie plus volumineuse du Lactitol trihydrate a été enlevée au scalpel, et la partie la plus proche de la surface de l'objet a été nettoyée à l'eau chaude. Ensuite l'andouiller a été à nouveau séché au four, à une température de 50°C pendant quatre heures.

Sur les autres bois de cerf traités au Lactitol, aucune formation cristalline n'a été observée à la surface des objets. Par contre, un mois après la fin du séchage au four, de nouvelles

fissures se sont formées sur deux objets (SL 82751 et SL 82779) (voir fig.56 et 57). En même temps, sur un autre artefact (SL 82790) quatre soulèvements de surface sont apparus (voir fig.58) et une fissure, déjà présente s'est agrandie. Apparemment, ces formations de nouvelles altérations, ne sont pas dues à l'abaissement important de l'humidité relative. La cause de la formation de ces nouvelles fissures et des soulèvements de surface peut être due, encore une fois, à la cristallisation de Lactitol trihydrate. Si le séchage est insuffisant, le trihydrate peut se cristalliser plusieurs semaines après la fin du traitement. Il est donc possible que de l'eau soit restée dans les objets, et que la cristallisation du trihydrate ait pu provoquer des nouveaux dégâts sur les objets.



Fig.56 : Petit andouiller (SL 82751) traité au Lactitol après séchage au four (gauche) et un mois après la fin du traitement (droite) avec la formation de nouvelles fissures (échelle 1 :1)

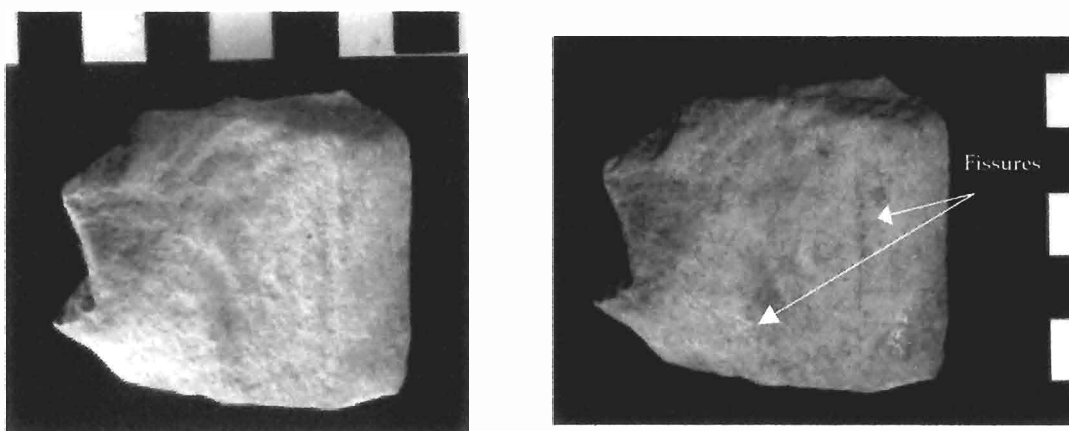


Fig.57 : Fragment de bois de cerf après (SL 82779) traitement au Lactitol après séchage au four (gauche) et un mois après la fin du traitement (droite) avec la formation de nouvelles fissures (échelle 1 :0,4)

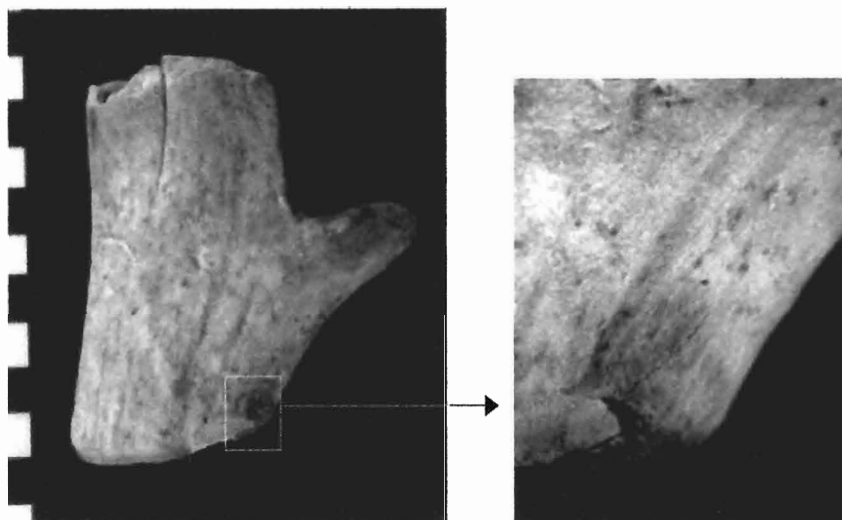


Fig.58 : Gaine de hache (SL 82790) traité au Lactitol et séché au four (échelle 1 :1,65). Un mois après la fin du traitement, des soulèvements de surface se sont formés (échelle 1 :0,6)

Pour éviter un agrandissement des fissures existantes, et aussi que des nouvelles fissures ne puissent se former, tous les objets traités au Lactitol ont été remis dans le four à 50°C pendant deux heures (à l'exception de l'andouiller MP 14714, qui avait déjà été remis au four). De cette façon, le cristal trihydrate fond et se recristallise en monohydrate.

Pour prévenir une éventuelle cristallisation du trihydrate sur les autres objets, il a été décidé de remettre l'ensemble des bois de cerf dans le four.

On peut remarquer que tous les problèmes sont arrivés une fois que le séchage était terminé. Ce sont les objets imprégnés pendant longtemps avec des concentrations élevées de Lactitol (30 %) qui ont été les plus endommagés. En effet, la cristallisation du Lactitol trihydrate à la surface du bois de cerf, s'est vérifiée sur un andouiller (MP 14714) qui avait été traité dans des bains de Lactitol à 30 % pendant un mois, et sur un autre objet (SL 82779), qui a subi le même traitement, des nouvelles fissures se sont formées un mois après la fin séchage. Les deux autres bois de cerf, qui ont subi des nouveaux dégâts après le traitement ont été traités par immersion sous vide partiel dans un bain de Lactitol à 30 % pendant deux semaines (SL 82790) et dans un bain de Lactitol à 20 % pendant un mois (SL 82751).

Peut-être que tous les problèmes rencontrés lors du séchage des objets traité au Lactitol pourraient être éliminé en ajoutant 10 % de Tréhalose dans les bains. Ce sucre-alcool empêche la formation du Lactitol trihydrate et, de ce fait, le séchage pourrait être accompli à température ambiante.

3.-Comparaison entre les traitements

Une comparaison entre les différents traitements a été effectuée à partir d'observations récoltées avant, pendant et après les traitements. **Les trois produits utilisés, ainsi que les méthodes d'application et de séchage employées, seront jugés par rapport à la facilité de mise en œuvre, aux problèmes rencontrés pendant le traitement et, enfin, à l'efficacité de la consolidation apportée au bois de cerf après leur traitement.**

En plus, les différentes réactions observées lors du séchage des objets provenant des différents sites archéologiques seront décrites. On peut en effet remarquer que **l'état des bois de cerf sec varie considérablement entre les objets qui proviennent de sites différents**, et tout particulièrement entre les objets de Marin les Piécettes et les autres sites de fouilles.

3.1-Mise en oeuvre et déroulement des traitements

Les trois produits employés pour la conservation des 25 bois de cerf gorgés d'eau sont tous solubles dans l'eau. Les traitements ont été effectués par immersion des objets dans une solution d'eau et du produit choisi. Le PEG 400 et le Primal® WS 24 sont des produits liquides qui se mélangent instantanément avec l'eau. Le PEG 1000 et le Lactitol sont solides à température ambiante et leur dissolution dans l'eau requiert un peu plus de temps. Leur solubilisation ne nécessite ni agitation ni une élévation de la température des bains. Le Lactitol se dissout un peu plus rapidement dans l'eau que le PEG 1000.

Dans les trois cas, l'emploi d'une solution aqueuse permet d'effectuer des imprégnations dans des conditions de sécurité qu'aucun autre solvant ne peut offrir. Des imprégnations de masse peuvent donc être effectuées facilement et surtout sans dangers pour les hommes. En plus, la mise en oeuvre de ses traitements est très facile et ne demande pas d'infrastructures particulières et coûteuses.

Pour ce qui concerne les imprégnations sous vide partiel, elles peuvent être effectuées facilement dans une étuve à vide, que l'on trouve dans la plupart des laboratoires de conservation-restauration. Dans ce cas, un traitement de masse n'est pas envisageable, puisque la capacité des enceintes à vide est, le plus souvent, assez réduite.

Les imprégnations au Primal® WS 24 se sont déroulées sans problèmes. Par contre, des microorganismes se sont développés dans les bains de PEG et de Lactitol.

Le Lactitol semble être moins facilement sujet à une contamination que le PEG. En effet, si l'on compare les imprégnations effectuées à la même concentration (20 %), on constate que tous les bains de PEG ont été contaminés, tandis qu'un seul bain de traitement au Lactitol à 20 % a eu des problèmes de microorganismes. En plus, dans ce dernier cas, les microorganismes étaient uniquement présents sous forme de traces. Par contre, dans la plupart des bains de PEG, la présence de microorganismes était plus importante.

Les imprégnations effectuées à une concentration de 30 % de Lactitol ont toutes présentées des problèmes de microorganismes, en quantité similaire à celle rencontrée dans les bains de PEG. Mais, probablement, si des traitements au PEG à 30 % auraient été effectués, la quantité de microorganismes dans les bains, serait été encore supérieure.

Même si la contamination des microorganismes dans l'ensemble des bains utilisés pour les traitements était assez réduite, elle pourrait cependant provoquer des problèmes plus importants lors d'imprégnation de masse, où le volume de liquide employé est plus important. Pour les imprégnations effectuées lors de ce travail, l'apparition de microorganismes a été défavorisée en cherchant d'éliminer les échanges d'oxygène avec le milieu extérieur et en éliminant la lumière à l'intérieur des bains. Cette précaution n'est pas toujours appliquée lors des imprégnations de matériaux organiques. Sans cette mesure, la concentration de microorganismes dans les bains peut rapidement devenir plus importante

et, dans ces cas, l'emploi d'un biocide devient indispensable. Mais il est préférable de limiter l'emploi de ces produits car ils peuvent parfois fausser de futures analyses sur les objets traités.

Les séchages lents et contrôlés se sont généralement tous bien déroulés. Seulement dans un cas, on a eu des problèmes de microorganismes, avec le développement de champignons sur la partie spongieuse d'un andouiller.

La mise en oeuvre de ce type de séchage est très simple et n'exige pas d'infrastructures particulières. Par contre, cette méthode **demande une présence régulière du conservateur-restaurateur**, puisque l'humidité relative doit être abaissée de façon régulièrement en ouvrant la plaque en verre qui recouvre la caisse. En plus, **les temps requis pour ce type de séchage sont assez longs.**

Les temps de séchage peuvent être réduits par la **lyophilisation**, qui nécessite environ 24 heures pour le séchage d'un objet. La lyophilisation est un moyen de séchage très efficace pour beaucoup de matériaux organiques mais, malheureusement, après cette expérience, elle **ne semble pas convenir pour le séchage des bois de cerf**. Des problèmes ont déjà été rencontrés pendant la congélation. Ils pourront être cependant résolu en augmentant la concentration de PEG dans les bains, ou en congelant l'objet de façon à favoriser la surfusion de la glace. Les réactions des bois de cerf, mis sous vide d'air sont par contre plus difficiles à éviter. Enfin, réussir à arrêter le séchage au bon moment reste toujours un problème, puisque dans la dernière étape du séchage, l'augmentation de la température à l'intérieur de l'objet se passe assez rapidement.

Un séchage par lyophilisation à pression atmosphérique pourrait peut-être donner de meilleurs résultats. Malheureusement nous n'avons qu'un seul objet pour tenter cette expérience de lyophilisation et nous n'avons, de ce fait, pas pu pousser ces recherches comme nous l'avions souhaité.

Pendant le séchage des bois de cerf traités au Lactitol, plusieurs problèmes ont été rencontrés. **Le séchage à une température de 50°C s'est déroulé trop rapidement**, et les objets ont probablement souffert lors du départ rapide de l'eau. Après traitement, il

devient assez difficile d'estimer si les fissures et les rétrécissements rencontrés sur les bois de cerf sont dus au produit employé ou au type de séchage appliqué.

En augmentant le temps de séchage, avec une diminution graduelle de l'humidité relative, on pourrait cependant diminuer les tensions et les stress auxquels les objets sont soumis lors du séchage. Mais, dans ce cas, on ne peut pas exclure un empirement de l'état de dégradation du collagène par une exposition prolongée des objets dans des conditions de température et d'humidité élevées. En plus, ce milieu est favorable au développement de plusieurs microorganismes.

Pendant le séchage au four on a constaté que le liquide avait tendance à se déplacer vers la partie basse de l'objet, en provoquant une **hétérogénéité du séchage** et de la concentration du Lactitol dans l'objet. Cette hétérogénéité peut provoquer des contraintes ultérieures sur la structure des bois de cerf et favoriser la formation de fissures et cassures.

En plus, comprendre à quel moment le cœur de l'objet est sec reste assez difficile. **Si le séchage est insuffisant, le Lactitol encore liquide à l'intérieur de l'objet peut se cristalliser sous forme de trihydrate et, en augmentant de volume. Ce qui peut créer des dégâts aux objets,** comme c'était le cas pour des objets employés dans cette recherche.

La mise en oeuvre et le déroulement des imprégnations sont tous faciles, et seul des différences entre les produits ont été remarquées pour l'apparition de microorganismes dans certains bains. Le Primal® WS 24 est le seul produit qui n'a pas été touché par ce problème, et le Lactitol semble être moins facilement sujet à une contamination que le PEG. Pour ce qui concerne les types de séchage, d'après les expériences accomplies, on peut affirmer que le séchage lent et contrôlé reste le type de séchage le plus sûr et le plus pratique pour la conservation des bois de cerf gorgés d'eau.

3.2-Pénétration des produits employés

La pénétration du produit à l'intérieur des bois de cerf, représente un facteur très important pour le soutien mécanique à apporter aux objets lors du séchage.

Idéalement, le produit employé pour la conservation des bois de cerf gorgés d'eau doit pouvoir se substituer facilement avec l'eau à l'intérieur des cellules tout en pénétrant jusqu'au cœur des objets, de façon à apporter une consolidation homogène dans le volume de l'objet et leur éviter ainsi un rétrécissement et des fissurations. Pour cette étude, aucune analyse n'a pu être effectuée pour observer la pénétration des produits dans le volume des objets (voir chap.3.2.3), mais d'autres types d'expériences ont été réalisées pour tenter de comprendre la manière dont le produit s'introduit dans le matériau.

3.2.1-Augmentation du poids des objets pendant les imprégnations

Pour contrôler la pénétration des produits à l'intérieur des objets, les bois de cerf ont été régulièrement pesés pendant les imprégnations. Puisque la densité des produits employés est supérieure à la densité de l'eau, une augmentation du poids des objets correspond à une absorption du produit par les bois de cerf.

Avant d'être posé sur la balance, les objets étaient bien égouttés, de façon à obtenir des mesures qui soient les plus cohérentes possibles.

Pour mieux confronter les données des différents objets, l'augmentation de poids a été calculée en pourcentage, puis ces données ont été insérées dans un graphique.

D'après ces mesures, on peut constater que presque tous les objets se sont alourdis pendant les imprégnations. Seuls les bois de cerf traités au Primal® WS24 n'ont pas vu changer leur poids de manière appréciable ; peut-être à cause de la faible concentration (4 %) employée dans les bains. On constate aussi que les courbes d'augmentation de poids sur les graphiques varient selon le type de produits employé pour les imprégnations (voir fig.59).

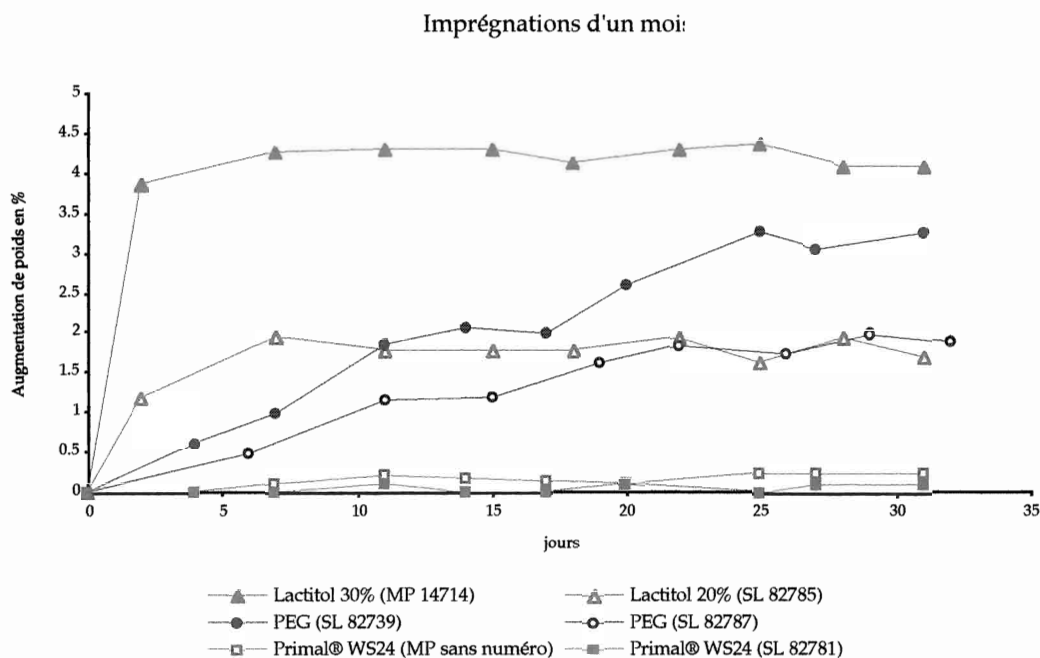


Fig.59 : Graphique représentant l'augmentation de poids des objets plongés dans des bains de Lactitol, de PEG et de Primal WS 24 pendant un mois.

On peut observer que les bois de cerf traités au Lactitol ont généralement tendance à absorber rapidement une grande quantité de sucre dans leur structure, en augmentant leur poids de façon considérable dans la première semaine de traitement. Ensuite, le poids se stabilise. Seul sur deux objets traités au Lactitol on a pu observer une augmentation de poids après deux semaines de traitement : dans tous les autres cas, le poids s'était stabilisé au bout d'une semaine, ou même avant (voir annexe 4). Il est donc possible qu'à l'intérieur des objets, l'échange entre l'eau et le Lactitol se fasse rapidement, et qu'ensuite le matériau n'absorbe plus de produit. Il devient donc inutile de prolonger excessivement les imprégnations.

L'absorption du PEG à l'intérieur des bois de cerf s'effectue de manière plus graduelle. Les objets augmentent de poids lentement et progressivement. Si on observe le graphique concernant les imprégnations au PEG sur une durée de deux mois, on constate aussi une stabilisation du poids des objets, environ un mois après le début du traitement (voir fig.60).

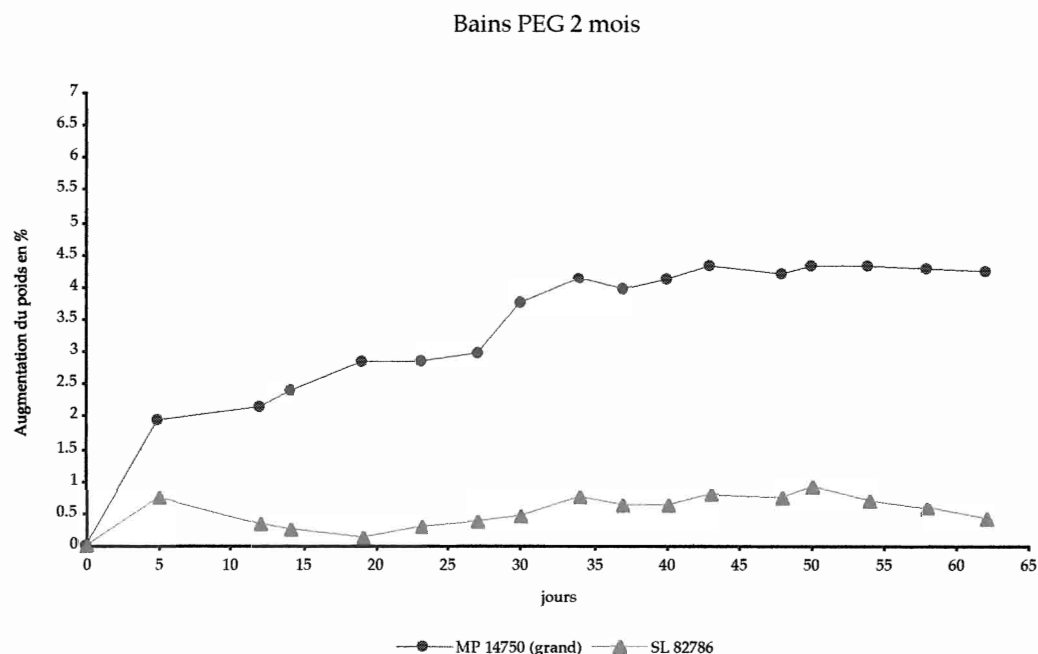


Fig.60 : Graphique représentant l'augmentation de poids des objets plongés pendant deux mois dans un bain de PEG

La stabilisation du poids est bien visible sur le bois de cerf MP 14750, tandis que la courbe de l'autre objet est de compréhension plus difficile. Apparemment le PEG avait plus de difficulté à pénétrer à l'intérieur de ce bois de cerf. Mais, si on confronte toutes les courbes des objets traités au PEG, on s'aperçoit que cet objet représente une exception (voir annexe 4).

Pour ce qui concerne les imprégnations sous vide partiel, aucune mesure du poids n'a été effectuée pendant les traitements, pour ne pas soumettre les objets à plusieurs fluctuations de pression.

Au termes des expériences accomplies, on peut dire que le Lactitol pénètre plus facilement dans les bois de cerf que le PEG. Les imprégnations au Lactitol pourront être arrêtées après une ou deux semaines de traitement, celles au PEG, après environ un mois de traitement.

Le Primal® WS24 ne semble pas pénétrer beaucoup dans la structure des bois de cerf mais, comme on a déjà dit, il est possible qu'une augmentation significative de poids n'ait pas été remarquée à cause de la faible concentration du Primal® dans les bains.

3.2.2-Quantité de produit absorbée par les bois de cerf

Pour avoir une confirmation des résultats obtenus, et pour chercher à déterminer la quantité de produit absorbé par les objets, des calculs du pourcentage des produits dans les bains à la fin des traitements ont été accomplis. En faisant la différence entre le pourcentage initial et le pourcentage final du produit dans la solution aqueuse, on peut savoir quelle quantité de consolidant a été absorbée par les bois de cerf.

Pour calculer le pourcentage des produits à la fin des traitements, 50 g de la solution aqueuse ont été déposés dans un pot en plastique qui avait précédemment été pesé. Ensuite, l'eau a été évaporée à température ambiante, pendant plusieurs semaines. Une fois l'eau totalement évaporée, le produit solidifié et le pot ont de nouveau été pesés. Si on soustrait le poids du pot en plastique au poids total final, on obtient le poids du produit contenu dans 50 g de solution. À partir de ce poids, on peut alors remonter au pourcentage du produit à la fin du traitement. Pour ce qui concerne les imprégnations au PEG, deux types de PEG différents (400 et 1000) ont été employés et le pourcentage du PEG à la fin du traitement a été calculé à partir du poids de l'eau évaporée. Par contre, le pourcentage du Primal® WS 24 n'a pas pu être calculé, puisque ce produit se trouve déjà dans une solution aqueuse. Remonter au pourcentage de la solution à la fin du traitement à partir du poids du produit solide, était assez difficile et on ne pouvait pas être sûr à 100 % des résultats.

Lorsque les pourcentages de produit employé au début et à la fin de traitement sont connus, il est possible de calculer la différence. En connaissant la quantité de solution utilisée pour les imprégnations, on peut calculer le poids du produit absent, et donc la quantité de produit qui a été absorbée par les matériaux.

Ce calcul a été effectué pour tous les bains de PEG et de Lactitol, mais **malheureusement les résultats obtenus n'ont pas permis de déterminer la quantité du produit qui se trouvait à l'intérieur des objets**. Ces calculs, montrent que, dans la plupart des cas, la concentration finale de produits dans les bains est légèrement supérieure à celle du début. Probablement l'eau qui s'est évaporée des bains pendant la période du traitement qui en est la cause et ce, malgré le film de polyéthylène qui avait été déposé sur la surface du liquide.

Sur tous les bains au PEG, une faible augmentation de la concentration du poids à la fin du traitement a été constatée. Par contre, la concentration de presque tous les bains de Lactitol à 30 % avait subi une légère diminution du pourcentage. En ce qui concerne les bains au Lactitol à 20 %, certains présentaient une légère augmentation de la concentration après traitement, et certains autres une légère diminution.

Une évaporation de l'eau s'est certainement produite dans les bains où la concentration avait diminuée, et pour cette raison, ces résultats ne peuvent pas être considérés comme valable pour déterminer la quantité de Lactitol dans les objets.

3.2.3- Analyses ultérieures

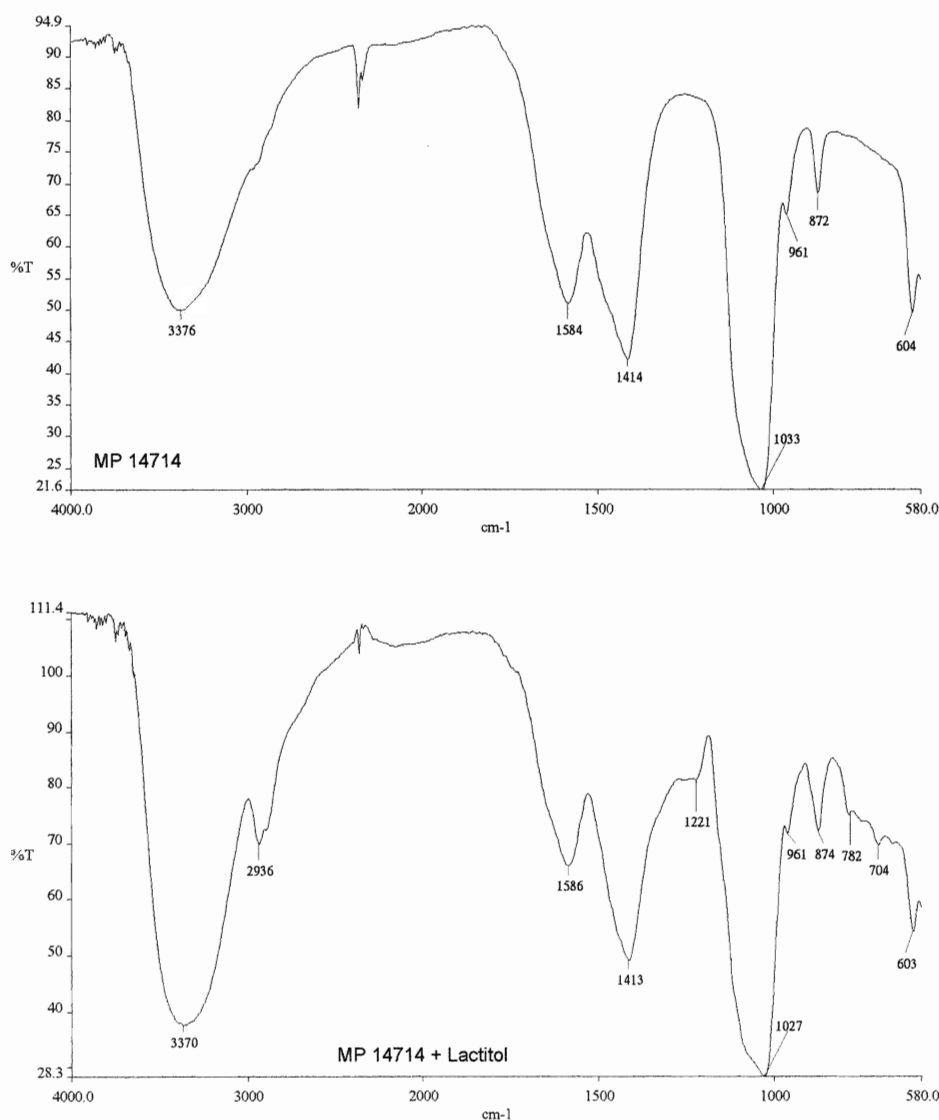
Pour effectuer une recherche sur la pénétration des produits, l'étude la plus intéressante aurait été de pouvoir déterminer la quantité de produit qui se trouvait dans le volume de l'objet. D'autre part, il aurait été intéressant de savoir si le produit se concentrait à la surface de l'objet, ou s'il pénétrait jusqu'au cœur. Mais, pour une étude de ce type, il est indispensable de couper les objets, de façon à pouvoir analyser toute la stratigraphie de l'objet ; chose qui n'étaient malheureusement pas possible sur les objets employés dans cette recherche.

La structure interne des bois de cerf ne permet pas non plus une observation sous microscope électronique à balayage de la disposition du produit à l'intérieur des cellules. Ce type d'analyse est très intéressante, par exemple, pour les bois gorgés d'eau, puisque dans ce cas il est possible observer le produit de consolidation à l'intérieur des cellules du bois. Mais puisque les cellules des bois de cerf ne sont pas ouvertes comme celle du bois, l'observation d'un produit à l'intérieur de sa structure est presque impossible.

D'autre part, la coexistence du substrat osseux avec le produit employé, ne permet pas d'effectuer beaucoup d'analyses puisque, généralement, la lecture des résultats est très difficile.

Malgré cela, des analyses au FTIR ont été effectuées sur un échantillon qui avait été prélevé à la surface d'un objet (MP 14714) traité au Lactitol. Le but de cette analyse était de déterminer si le séchage au four avait ultérieurement dégradé la partie organique du bois de cerf.

Ces analyses, ont révélé que les pics du collagène étaient encore présents. Mais, puisque le FTIR détecte la présence des acides aminés et non l'ensemble de la molécule du collagène, il était très difficile de dire si le collagène s'était davantage dégradé. Par contre, grâce à ce spectre, on a pu constater la présence de nouveaux pics. Si on fait la comparaison entre les spectres du même objet avant et après traitement, et le spectre résultant de l'analyse au FTIR des cristaux de Lactitol, on peut constater que le Lactitol est présent dans la surface du bois de cerf (voir fig.61).



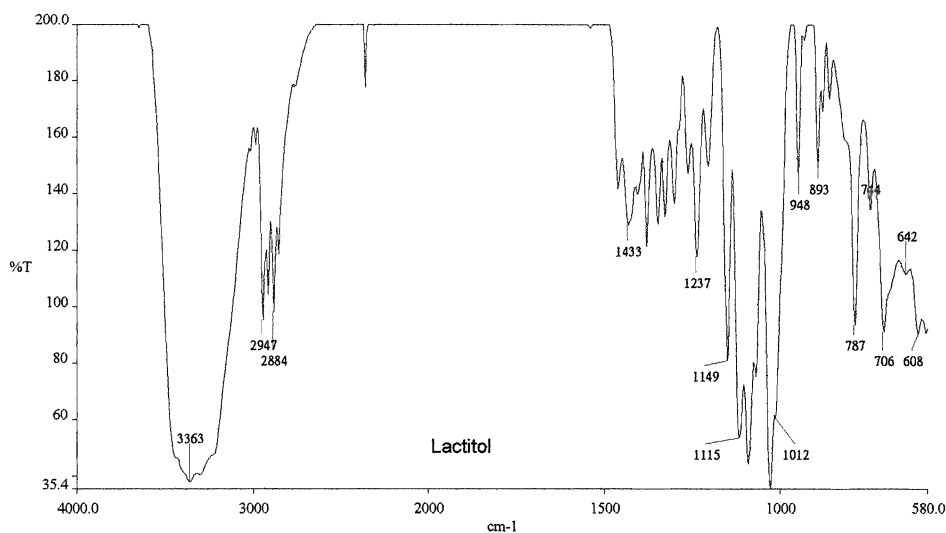


Fig.61 : Spectre FTIR relatifs à un andouiller (MP 14714) avant et après traitement au Lactitol, et au cristaux de Lactitol

Quatre nouveaux pics sont apparus sur le spectre du bois de cerf traité au Lactitol. Ils se trouvent à environ 2940, 1220, 785 et 705 cm^{-1} . Si on compare ce spectre avec celui du Lactitol, on voit qu'aux quatre pics, correspond une absorption de la molécule de Lactitol. Leur apparition est probablement due à la présence de ce sucre sur la surface de l'objet.

L'analyse au FTIR des objets après traitement a été effectuée uniquement sur une pièce, puisque ce type d'analyse ne semblait pas être très intéressant pour déterminer la pénétration du produit à l'intérieur des bois de cerf. Les échantillons à analyser auraient pu être prélevés uniquement à la surface des objets, où les probabilités de trouver des traces du produit de consolidation sont très élevées.

Dans cette recherche, les seuls résultats utiles pour déterminer la pénétration du produit à l'intérieur des bois de cerf, sont ceux qui ont été obtenus par l'augmentation du poids des objets pendant les imprégnations.

Il faut aussi considérer que les imprégnations ont été effectuées sur un nombre assez limité d'objets. Les résultats obtenus pendant cette recherche ne peuvent pas être étendus à tous les traitements de conservation des bois de cerf gorgés d'eau.

3.3-Consolidation apportée et stabilisation dimensionnelle des objets

L'état des objets secs et le soutien apporté au bois de cerf après traitement représente le critère le plus important pour une confrontation entre les trois produits employés et les méthodes de conservation appliquées.

Pour déterminer la consolidation et la stabilisation dimensionnelle apportée aux objets après traitement, les bois de cerf ont été photographiés, décrits et scrupuleusement observés avant et après leur traitement. En outre, les dimensions des objets avant et après traitement ont été notées et confrontées. La forme irrégulière des bois de cerfs rendait parfois difficile cette prise de mesure. Pour avoir un point de comparaison valable, les mesures des objets devaient toujours être prises au même endroit. Des points de référence, présents naturellement sur le bois de cerf, ont été recherchés, puis ont été reportés sur un dessin (voir fig.62).

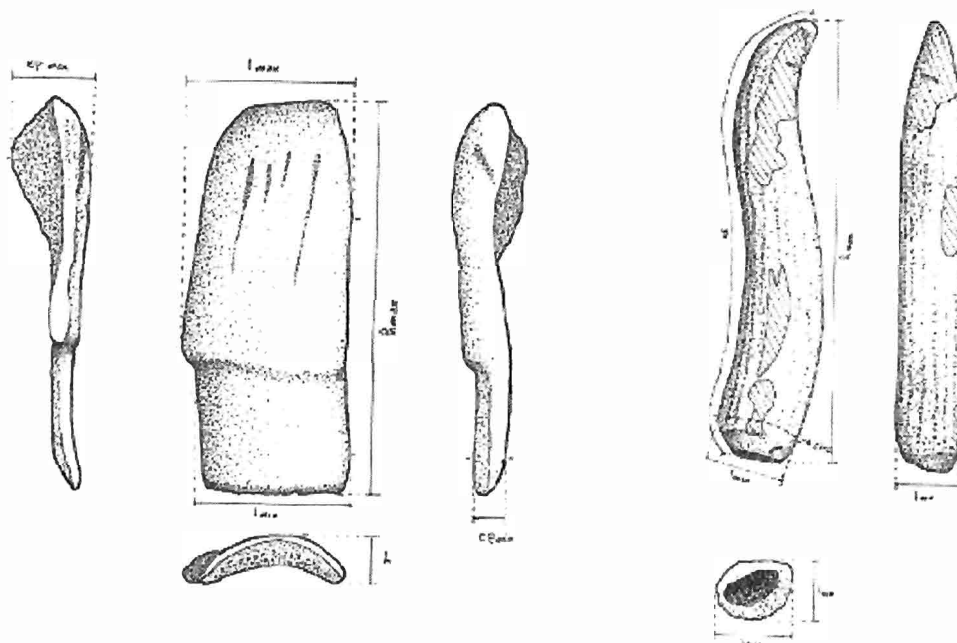


Fig.62 : Exemple de mesurage de deux bois de cerf (SL 82787 et MP 14714)

Les changements dimensionnels des objets ont été calculés à partir de ces données. Pour avoir la possibilité de confronter les résultats entre des bois de cerf de dimensions très différentes, le pourcentage du rétrécissement a été calculé.

Les valeurs ASE (anti-shrink efficiency) n'ont par contre pas été calculées. Ces valeurs sont fréquemment utilisées pour caractériser l'efficacité des traitements pour la stabilité dimensionnelle des bois gorgés d'eau. L'ASE est calculée à partir du rétrécissement de l'objet non traité, par rapport au rétrécissement de l'objet traité².

Pour calculer ces valeurs, il aurait fallu couper les objets en deux, de façon à pouvoir comparer le rétrécissement de l'objet avec et sans traitement. En plus, le changement de volume des bois de cerf gorgés d'eau séché sans aucun traitement préliminaire, n'est pas si important et spectaculaire que celui du bois. Les différences entre les deux valeurs seront donc assez réduites et, puisque plusieurs objets sont de petites dimensions, une erreur de mesurage de l'ordre de 0,05 mm pourrait changer considérablement les valeurs ASE.

Pour avoir une confirmation des changements dimensionnelles des objets, et pour observer si des déformations se vérifient sur les bois de cerf, un calque de la forme des objets avant et après traitement a été dessiné sur une feuille transparente (voir fig.62).



Fig.62 : Calque de la forme d'un andouiller (MP 14714) avant et après traitement

² Hoffmann P., 1986, p.104

Une fois tous les traitements terminés, et une fois les objets secs, aucune déformation n'a été constatée (voir annexe 7). D'autre part, les fragments des deux objets cassés en plusieurs morceaux étaient toujours jointifs. Tous les bois de cerf ont par contre subi une certaine diminution de volume. Les moyennes des rétrécissements sont comprises entre 0,03 % et 6,98 %. On peut aussi constater que les bois de cerf ont tendance à se rétrécir de manière plus importante dans le sens de la largeur que celui de la hauteur. Ce phénomène a été rencontré sur presque la totalité des objets (voir annexe 1).

Même si les objets ont subi un prétraitement, presque tous ont subi de petits ou de grands dégâts lors du séchage. Seuls trois bois de cerf, ne se sont pas altérés.

Sur un petit nombre de bois de cerf, quelques petites craquelures, visible uniquement sous microscope, ce sont formées en surface (voir fig.63). Sur des autres objets, des fissures sont apparues. Dans certains cas, les fissures déjà présentes sur les bois de cerf avant le traitement se sont agrandies.

Les fissures qui se sont formées sur les bois de cerf après leur traitement peuvent varier considérablement d'un objet à l'autre. Elles peuvent être très petites et presque imperceptibles à oeil nu (voir fig.64), être assez longues et fines (voir fig.65) ou encore être très grandes avec une grande ouverture (voir fig.66).

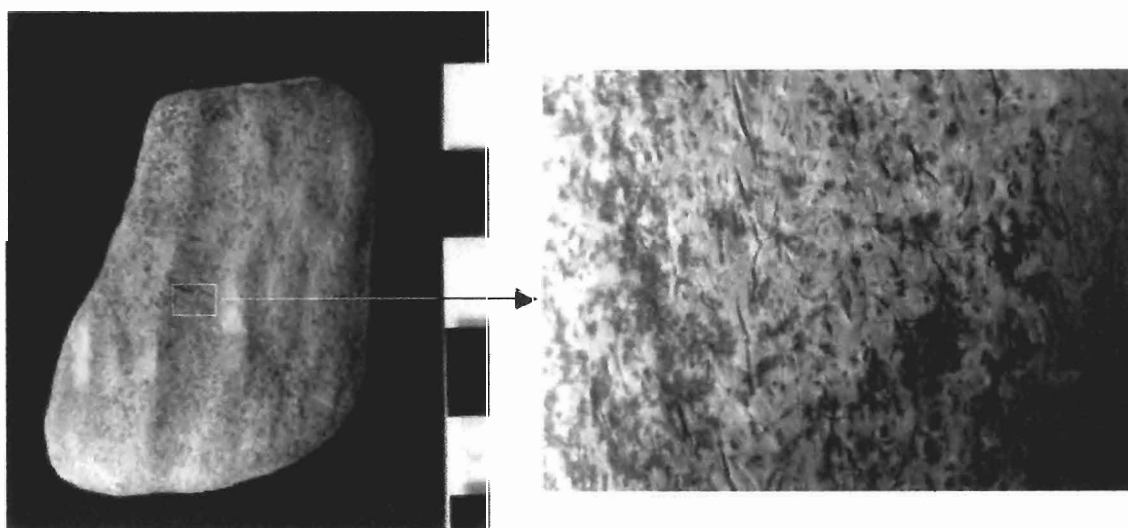


Fig.63 : Craquelures présentes sur la surface d'un objet (SL 82780) après séchage (échelle fig. à gauche 1 :0,8 et fig. à droite 1 :0,1)

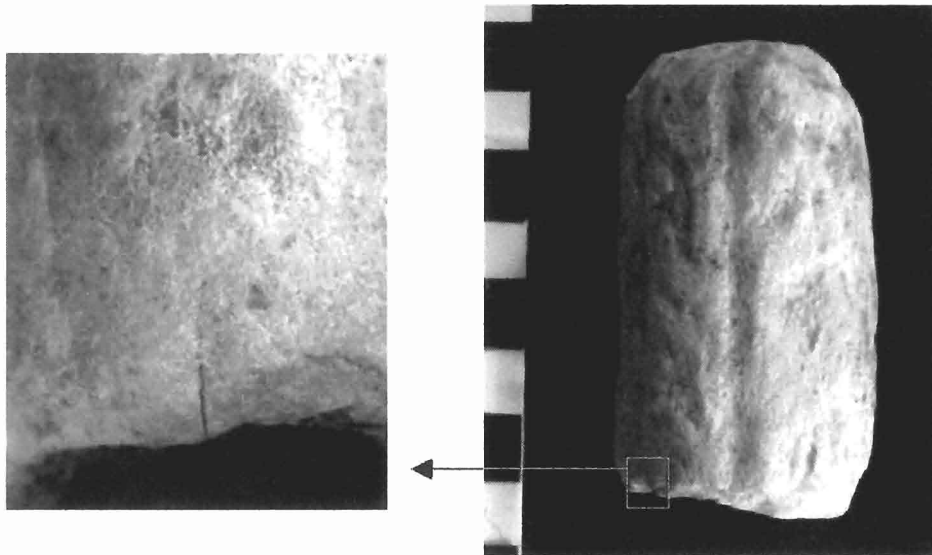


Fig.64 : Petite fissure apparue sur un objets (SL 82756) après séchage (échelle : fig. à gauche 1 :0,4 et fig. à droit 1 :1,25)

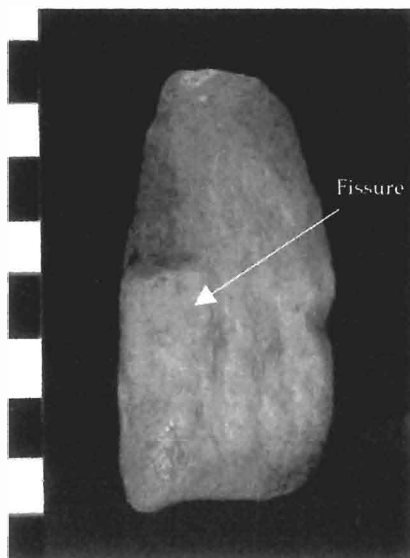


Fig.65 : Fissure longue et fine présente sur un fragment de gaine de hache (SL 83786) (échelle 1 :1,25)



Fig.66 : Grande fissure, de l'épaisseur de 2 mm, apparue sur un andouiller (MP sans numéro) après séchage (échelle 1 :2,5)

La surface de certains bois de cerf est complètement recouverte de fissures (voir fig.67). Seul un objet s'est cassé en plusieurs morceaux : le bois de cerf qui avait été lyophilisé (SL 82739) (voir fig.68). Dans ce cas, plusieurs morceaux de la partie compacte du bois de cerf se sont cassés et se sont détachés de la partie spongieuse.

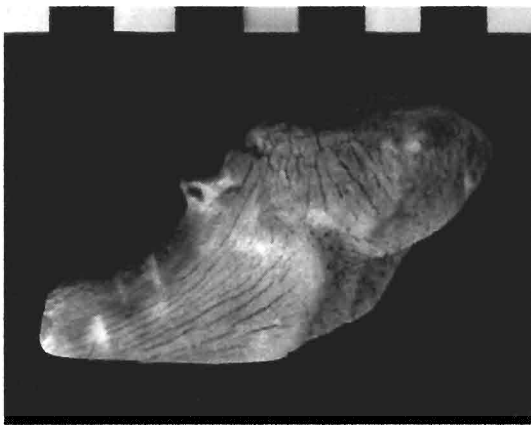


Fig.67 : Formation de plusieurs fissures à la surface d'un bois de cerf (HS 0009) (échelle 1 :1,25)

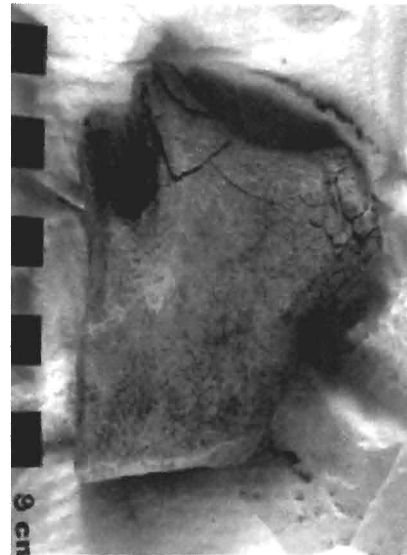


Fig.68 : Objet (SL 82739) lyophilisé présentant plusieurs cassures et fissures (échelle 1 :1,65)

L'objet qui a été lyophilisé est aussi le seul qui, après traitement a nécessité une consolidation. Les autres bois de cerf sont tous solides, même si des fissures sont présentes.

En observant les objets après traitement, on peut aussi observer que les bois de cerf ont tendance à se fissurer longitudinalement et que parfois la partie spongieuse tend à se séparer de la partie compacte du bois de cerf (voir fig.69). Sur les andouillers, on peut aussi constater que les fissures se concentrent dans la partie courbe externe de l'objet et aux deux extrémités.



Fig.69 : Formation d'une fissure entre la partie spongieuse et la partie compacte du bois de cerf (MP 14750) (échelle 1 :2)

Toutes les informations récoltées sur les changements volumiques et la formation de nouvelles altérations sur les objets ont été regroupées et mises en relation avec les traitements effectués. Un tableau a ainsi été rédigé, de façon à confronter les différents traitements (voir tableau 1). D'après ce tableau, on cherchera à déterminer lequel des différents produits et méthodes appliquées permet une meilleure conservation des bois de cerf gorgés d'eau.

Le tableau a été divisé en différentes parties, selon les différents types d'altérations apparus après traitement (quelques petites craquelures, petites fissures, longues et fines fissures, grandes fissures, soulèvements de surface, plusieurs fissures et cassures), et selon les différents rétrécissements mesurés. Les fissures qui étaient déjà présentes sur l'objet avant le traitement, et qui se sont agrandies après le séchage, seront considérées comme de nouvelles fissures dans le tableau.

Une petite croix a été insérée dans les cases correspondantes aux types d'altérations et de rétrécissement rencontrés sur les objets. Il est toutefois possible qu'un même objet nécessite deux croix (comme par exemple pour un objet qui est recouvert de plusieurs fissures, dont l'une d'elles est très grande), et dans ce cas les deux cases correspondant à ces deux altérations seront barrées.

Les objets traités au Lactitol, qui se sont fissurés un mois après la fin du séchage seront signalés par une croix avec un petit astérisque (X*).

	Altérations après séchage							Rétrécissement moyen après séchage								Objets traités	
	Pas d'altérations	Quelques craquelures	1-2 petites fissures	1-2 longues fines fissures	Soulèvements de surface	Plusieurs fissures	1-2 grandes fissures	Cassures	0,03 – 0,10 %	0,10 - 0,50 %	0,50 – 1,00 %	1,00 - 2,00 %	2,00 – 3,00 %	3,00 – 4,00 %	4,00 – 5,00 %		Supérieur à 5,00 %
PEG 2 mois				X		X			X		X						2
PEG 1 mois		X	X			X				X			X				2
PEG 2 semaines	X		X							X		X					2
PEG 2 semaines vide partiel			X										X				1
PEG 1 mois + lyophilisation						X		X			X						1
Primal 1 mois			X	X		X	X						X		X		2
Primal 2 semaines		X				X	X			X		X					2
Primal 2 semaines vides partiel						X						X					1
Lactitol 30% 1 mois			X*	X*		X				X						X	2
Lactitol 30% 2 semaines	X		X								X	X					2
Lactitol 30% 2 semaines vide partiel			X*		X*						X						1
Lactitol 20% 1 mois	X			X*					X		X						2
Lactitol 20% 2 semaines		XX								X			X				2
Lactitol 20% 2 semaines vide partiel						X										X	1
Séchage lent et contrôlé		X				X				X				X			2

Tableau 1 : Relation entre les traitements appliqués, les altérations et les rétrécissements rencontrés sur les objets après leur séchage

D'après ce tableau, on peut constater que la réaction des bois de cerf lors du séchage est très variée. La relation entre le traitement appliqué, le rétrécissement et les nouvelles altérations sur les objets n'est pas évidente et, parfois les résultats obtenus sont contradictoires. Par exemple, si on observe les imprégnations effectuées avec du Lactitol à 30 % pendant un mois, on constate que l'un des deux bois de cerf traité a subi une

diminution de volume de 5,65 %, tandis que l'autre objet s'est rétréci de 0,32 %. En plus, si on observe l'état des objets avant que le Lactitol trihydrate ne se cristallise, on peut constater que le bois de cerf qui s'est le moins rétréci ne présente aucune nouvelle altération après le séchage ; même une fissure qui était déjà présente sur l'objet ne s'est pas agrandie. L'autre objet par contre, est recouvert de plusieurs fissures.

Dans ces conditions, il devient donc très difficile de comprendre si le Lactitol apporte ou non une bonne stabilité mécanique au bois de cerf.

On remarques également que les objets qui ont été séchés tranquillement, sans aucun traitement préliminaire, ne semble pas être plus dégradés que les autres. Dans ce cas aussi, les résultats obtenus sont assez contradictoires, puisque l'un des objets s'est bien conservé, alors que l'autre présente plusieurs fissures et un rétrécissement assez important.

On peut cependant tirer des conclusions pour l'objet qui a été traité par **lyophilisation**. C'est en effet le seul objet qui s'est cassé et qui était instable et très fragile après le traitement (voir fig.68, p.99). On peut donc en déduire que **ce type de séchage ne semble pas convenir pour la conservation des bois de cerfs gorgés d'eau**.

On constate aussi que les bois de cerf traités au Primal® WS 24 sont les seuls qui, après traitement, présentent de grandes et larges fissures (voir fig.66, p.98 et fig.70). En plus, entre tous les objets qui présentent plusieurs fissures de surface, celui traité au Primal® est le plus dégradé. Le nombre ainsi que la largeur des fissures est plus élevée que sur les autres objets (voir fig.67, p99).



Fig.70 : Andouiller traité (MP 14495) au Primal® WS 24 pendant deux semaines. Il présente une grande et large fissure longitudinale (échelle 1 :1,25)

Les diminutions de volume rencontrées sur les bois de cerf imbibés avec le Primal® WS 24 sont aussi les plus élevées. La plupart des objets ont subi un rétrécissement moyen qui est supérieur à 1 %. Il est possible que ces mauvais résultats soient en relation avec la faible concentration du produit qui a été utilisée pour les imprégnations (4 %). Avec une concentration plus élevée, on pourrait peut-être obtenir de meilleurs résultats. **Il est possible d'affirmer que la conservation des bois de cerf gorgés d'eau avec une solution de Primal® WS 24 à 4 %, ne convient pas pour traiter efficacement ce type de matériau.**

Les résultats obtenus sur les objets traités au PEG et au Lactitol sont apparemment assez similaires. Dans les deux cas, les diminutions volumiques des bois de cerf après séchage sont assez variées puisque, dans la plupart des cas, elles sont comprises entre 0,03 et 1 %. Souvent, des petites fissures sont apparues sur les bois de cerf et, parfois, l'objet s'est recouvert de plusieurs fissures, mais aucune cassure ou grande fissure n'ont été observées. Pour trois objets traités avec le Lactitol, il faut considérer que des fissures se sont formées à cause de la cristallisation du Lactitol trihydrate, alors que les objets n'étaient pas totalement secs. À la fin du séchage au four, seul un des trois objets présentait des petites fissures, tandis que sur les deux autres, aucune nouvelle altération ne s'est produite. Cette même constatation est valable pour les soulèvements de surface qui s'étaient produits sur un bois de cerf. Si le séchage avait été correct, il est probable que ces fissures ne se soient jamais produites. En partant de cette constatation, on peut avancer le fait que le Lactitol semble empêcher davantage les fissurations que le PEG. Mais, pour affirmer ce dire, des expériences ultérieures devront encore être accomplies.

Si pour une confrontation entre les produits, on pouvait disposer de plusieurs objets qui avaient été traités avec le même produit, même s'il avait été utilisé de manière différente il n'en était pas de même pour ce qui concernait les temps d'imprégnation. En effet, pour tirer une comparaison entre ces différents temps d'imprégnation, seuls deux bois de cerf pouvaient être pris en considération pour chacun des bains.

Il était donc difficile de faire une conclusion objective et valable en ce qui concerne les temps d'imprégnation des traitements.

Cette même remarque est valable pour les imprégnations des bois de cerf qui ont été effectuées sous vide partiel.

3.3.1-Relation entre la réaction des objets lors du séchage et leur lieu de provenance

Des observations intéressantes ont pu être faite en comparant les changements constatés sur les objets après leur séchage et les traitements appliqués. Mais le tableau qui rassemble toutes ces données est d'assez difficile compréhension.

Si au lieu de mettre en relation la réaction des objets lors du séchage avec les traitements employés, on compare les altérations subies par les objets avec les sites de provenance des bois de cerf, on voit que le tableau devient beaucoup plus clair (voir tableau 2).

	Pas d'altérations	Quelques craquelures	1-2 petites fissures	1-2 longues fines fissures	Soulèvements de surface	Plusieurs fissures	1-2 grandes fissures	Cassures	0,03 – 0,10 %	0,10 - 0,50 %	0,50 – 1,00 %	1,00 – 2,00 %	2,00 – 3,00 %	3,00 – 4,00 %	4,00 – 5,00 %	Supérieur à 5,00 %	Objets traités
Sutz Lattrigen	XXX	XXXX	X*X*XX XX	X*X*XX	X*	X		X	XX	XXXX XX	XXX	X	XXX				15
Marin les Piécettes						XXXX XXX	XX				X	X	X	X	X	XX	7
Hitzkirch Seematte		X	X			X						XX	X				3

Tableau 2 : Relation entre la réaction des objets lors du séchage et leur site de provenance

On peut observer que les bois de cerf de Sutz Lattrigen réagissent assez bien au séchage. Dans la plupart des cas, seul quelques petites fissures et quelques craquelures sont présentes sur les objets. Souvent même, aucune altération est apparue. Le rétrécissement

moyen de ces objets et généralement inférieur à 1 %, tandis que pour les bois de cerf de Marin les Piécettes et de Hitzkirch Seematte il est toujours supérieur à 1 %.

Les objets de Marin les Piécettes se sont tous fortement fissurés pendant le séchage. Les bois de cerf de Hitzkirch Seematte ont parfois réagi comme les objets de Sutz Lattrigen, et parfois comme ceux de Marin les Piécettes.

Ces constatations sont cohérentes avec les analyses FTIR effectuées sur les objets (voir deuxième partie, chap.3.5). **La fraction organique des objets de Sutz Lattrigen est mieux conservée de celle des objets de Marin les Piécettes**, qui a eu une augmentation importante de carbonates dans sa structure. Il est donc possible qu'une perte importante de collagène et une augmentation du tissu inorganique dans la structure des bois de cerf ait fragilisé la structure des bois de cerf de Marin les Piécettes, en diminuant ainsi leur élasticité. En conséquence, lors du séchage, plusieurs fissures se sont créées.

Cette théorie est confirmée par l'état de conservation des objets de Hitzkirch Seematte après traitement. D'après les analyses FTIR effectuées sur trois bois de cerf, il est apparu qu'un objet (HS 0009) présentait un état de conservation qui se situait à mi-chemin entre les bois de cerf de Marin les Piécettes et ceux de Sutz Lattrigen. Le collagène était assez dégradé et une forte augmentation de carbonate avait été remarquée, même si elle était légèrement inférieure à celle des objets de Marin les Piécettes. Lors du séchage, cet objet a réagi de la même façon que les andouillers de Marin les Piécettes, tandis que les deux autres objets se sont comportés comme les objets de Sutz Lattrigen. Selon les analyses FTIR, l'un de ces deux objets s'était dégradé d'une façon très similaire à celle des bois de cerf de Sutz Lattrigen et l'autre était très bien conservé.

On peut donc constater que la réaction des bois de cerf lors du séchage est essentiellement dictée par leur état de conservation. Les traitements de conservation peuvent apporter un soutien à la structure interne des objets, mais leur influence sur la conservation des objets est assez limitée.

Les observations qui ont été décrites sur le premier tableau (voir p.101) sur l'efficacité des traitements, peuvent être confirmée et être de meilleure compréhension, si on rassemble sur un unique tableau les altérations des objets après traitement, les sites de provenance des bois de cerf et les traitements appliqués (voir tableau 3).

	Pas d'altérations	Quelques craquelures	1-2 petites fissures	1-2 longues fines fissures	Soulèvements de surface	Plusieurs fissures	1-2 grandes fissures	Cassures	0,03 - 0,10 %	0,10 - 0,50 %	0,50 - 1,00 %	1,00 - 2,00 %	2,00 - 3,00 %	3,00 - 4,00 %	4,00 - 5,00 %	Supérieur à 5,00 %	Objets traités
Sutz Lattrigen	LIX	XIOR	L*L*XX XO	L*I*XO	L*	Y		Y	XI	LIXX OR	LI.IY	X	XO				15
Marin les Piécettes						LIXX OOR	OO				X	O	X	R	O	LI	7
Hitzkirch Seematte		I	L			O						LO	I				3

Tableau 3 : Relation entre les altérations des objets après traitement, les sites de provenance des bois de cerf et les traitements appliqués. L : Lactitol 30%, I : Lactitol 20%, X : PEG, O : Primal® WS 24, Y : lyophilisation, R : séchage lent et contrôlé sans aucun prétraitement

À l'aide de ce troisième tableau, on peut réaffirmer que, d'après les expériences accomplies, la lyophilisation n'est pas un type de séchage adéquat pour les bois de cerf, et que le Lactitol et le PEG permettent une meilleure stabilisation des bois de cerf gorgés d'eau que le Primal® WS 24. Ce dernier point est très clair si on regarde l'état de conservation des objets de Marin les Piécettes après séchage. On peut également constater que tous les objets se sont beaucoup fissurés mais, pour ce qui concerne les bois de cerf traités au PEG et au Lactitol, les fissures sont généralement assez fines. Par contre, les fissures sur les objets traités au Primal® ont beaucoup plus augmentés, en atteignant une ouverture de 1,5 et 2 mm. Le type de consolidation apporté aux objets moins dégradés semble en revanche être légèrement meilleur.

Sur ce dernier tableau, on peut observer que le **Lactitol est généralement plus efficace sur des bois de cerf peu dégradés**. La stabilisation dimensionnelle apportée aux objets de Sutz Lattrigen est assez élevée, tandis que les bois de cerf de Marin les Piécettes se sont fortement rétrécis, avec une diminution volumique supérieure à 5 %. Cette dernière constatation est assez intéressante puisqu'elle est en contraste avec les résultats obtenus pour la conservation des bois gorgés d'eau. Selon les études effectuées sur les bois, le Lactitol apporte une meilleure stabilité dimensionnelle aux objets très dégradés ($ASE > 99\%$) que ceux peu dégradés ($ASE = 80 - 90\%$)³.

3.3-Aspect des objets après traitement

La couleur des objets après traitement est naturelle dans la plupart des cas. On peut apercevoir seulement sur trois objets traités au Lactitol des couleurs un peu plus foncées par rapport aux autres. Sur un andouiller qui avait été traité pendant un mois à une concentration de 30 % de Lactitol, la totalité de l'objet a pris une couleur assez foncée (voir fig.71). Cette même constatation a été faite sur les deux objets traités au Lactitol (20 et 30 %) sous vide partiel pendant deux semaines, puisqu'ils présentent aussi des zones de surface plus foncées (voir fig.72 et 73). **Très probablement l'assombrissement de la couleur des bois de cerf est dû à un surplus de Lactitol dans les objets.**

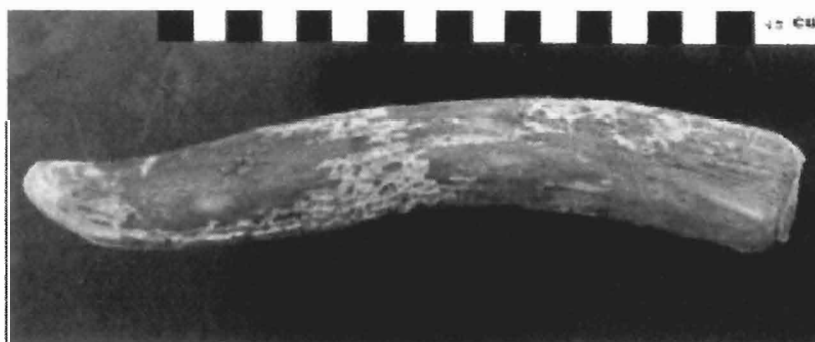


Fig.71 : Andouiller (MP 14714) traité au Lactitol 30 % pendant un mois. On peut observer un assombrissement général de la couleur de l'objet (échelle 1 :2,5)

³ Imazu S. and Morgos A., 1996, p.235

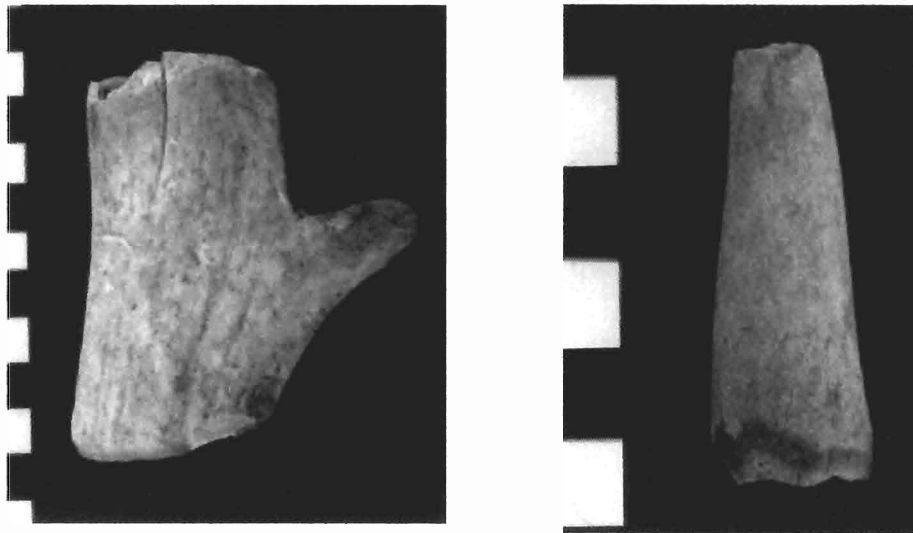


Fig.72 et 73 : Deux bois de cerf (SL 82790 à droite et MP 14750 à gauche) traité au Lactitol, sous vide partiel, présentant des zones de surface plus foncées (échelle fig.72 1 :1,65 et fig.73 1 : 0,8)

Par contre, sur tous les autres objets, on ne voit pas des grandes différences de couleur qui seraient dues aux produits employés. À la différence des observations décrites par la littérature et de certaines réponses aux questionnaires envoyés à tous les musées suisses, **aucun noircissement de surface n'a été observé sur les objets traités au PEG**, même pour ce qui concerne les bois de cerf imprégnés pendant deux mois.

En général, on peut remarquer que les bois de cerf traités au PEG présentent une couleur légèrement plus opaque que les artefacts traités au Primal[®] WS 24 et que ceux qui ont été laissés séchés tranquillement, sans aucun traitement préliminaire. Les bois de cerf qui ont été traités au Lactitol ont des couleurs légèrement plus vives et brillantes. Cette différence de couleur est toutefois très minime.

La lisibilité des détails est restée très bonne sur tous les bois de cerf traités. Dans aucun cas, le produit employé n'a estompé les fins détails de surface.

4.-Discussion

À partir de toutes les données récoltées, on a pu constater que la réaction des bois de cerf lors du séchage est essentiellement dictée par leur état de conservation. Les traitements de conservation peuvent apporter un soutien à la structure interne des objets, mais leur influence sur la conservation des objets est assez limitée.

Entre les trois produits utilisés, le PEG et le Lactitol semblent donner de meilleurs résultats que le Primal® WS 24. Cette dispersion colloïdale a un pouvoir consolidant assez faible et n'apporte pas une grande stabilité mécanique aux bois de cerf, en particulier pour ceux qui sont très dégradés. Il est probable qu'en augmentant la concentration de Primal® WS 24 dans les bains (concentration > 4 %) on obtienne de meilleurs résultats. Mais, pour étayer cette supposition, de nouvelles expériences devront être accomplies.

Si on écarte les problèmes liés à la cristallisation du Lactitol trihydrate, on peut observer que le Lactitol semble donner une meilleure stabilité mécanique aux objets peu dégradés que le PEG. Par contre, le PEG est plus efficace que le Lactitol sur les bois de cerf très dégradés.

Cependant, juger l'efficacité du Lactitol sur la conservation des bois de cerf gorgés d'eau reste assez difficile. Les objets qui ont été imprégnés avec ce produit doivent être séchés à une température de 50°C, pour favoriser la formation des cristaux monohydrate. Si le séchage est incomplet, ou s'il est effectué à température ambiante, le Lactitol trihydrate peut se cristalliser, en augmentant de volume. Des dommages peuvent donc se produire sur les objets.

Sur de si petits objets, un séchage au four à 50°C est généralement très rapide, ce qui peut provoquer des tensions. En plus, le séchage s'effectue de façon hétérogène, le Lactitol a la tendance à se concentrer dans la partie basse de l'objet et, en conséquence, la surface du bois de cerf va sécher plus rapidement que le cœur (ce qui rend parfois difficile de comprendre à quel moment l'objet est complètement sec). Au terme du traitement, il devient donc difficile d'estimer si les éventuelles nouvelles dégradations sont dues au produit utilisé ou au type de séchage effectué. Il faut également rappeler que, dans certains cas, le séchage était insuffisant et que la cristallisation du Lactitol trihydrate a apporté de nouveaux dégâts au bois de cerf.

D'autre part, si le temps de séchage est prolongé, en diminuant doucement l'humidité relative, une dégradation du collagène peut se produire.

Le Lactitol semble donner des résultats satisfaisants pour la conservation des bois de cerf gorgés d'eau, mais la nécessité de sécher les objets à 50°C n'est pas idéale et, comme nous venons de voir, occasionne de nombreuses difficultés. On ne peut donc pas conseiller ce traitement pour la conservation de ce matériau. Pour obtenir de meilleurs résultats, il est envisageable d'ajouter du Tréhalose dans les bains. Ce sucre-alcool empêche la formation du Lactitol trihydrate, et le séchage peut donc être accompli à température ambiante. Il serait donc intéressant d'effectuer des expériences d'imprégnation des bois de cerf avec ce mélange.

En ce qui concerne le **Lactitol**, on peut aussi constater que **des imprégnations à une concentration de 20 % sont plus favorables à la conservation des bois de cerf.** Les objets traités à une concentration de 30 % présentent souvent un assombrissement de la couleur, qui est probablement dû à un surplus de Lactitol. D'autre part, la plupart des problèmes rencontrés après le séchage sont survenus sur les bois de cerf traités à cette concentration.

Par rapport aux autres traitements, **la méthode de traitement au Lactitol permettrait de réduire les temps d'imprégnations des bois de cerf.** En observant l'augmentation du poids des objets lors des imprégnations, on constate que les objets absorbent la plus grande partie de Lactitol dans la première semaine du traitement, et qu'ensuite, le poids se stabilise. Les traitements peuvent donc être arrêtés après une ou deux semaines d'imprégnations.

Pour les imprégnations effectuées au PEG, on observe que le poids des objets se stabilise environ un mois après le début du traitement. Si on veut obtenir une pénétration optimale de PEG à l'intérieur des bois de cerf, les imprégnations doivent donc être effectuées pendant un mois. En outre, **les bains au PEG semblent être plus facilement sujets aux contaminations de microorganismes** que les imprégnations au Lactitol. **Cependant, malgré cela et en fonction des expériences effectuées, le PEG reste, pour le moment, le meilleur traitement de conservation pour les bois de cerf gorgés d'eau.** Il apporte une assez bonne stabilité mécanique à l'objet, et le séchage peut être effectué à température ambiante. Si on arrive à améliorer le séchage des objets traités au Lactitol, par exemple par l'emploi du sucre Tréhalose, les traitements à 20 % de Lactitol pourront représenter une

altérative valable au PEG, en particulier pour les bois de cerf peu dégradés. Trouver un produit qui pourrait substituer le PEG peut devenir intéressant aussi pour la conservation à long terme des objets. En effet, **le PEG tend à être instable et à se dégrader avec le temps**. Cette dégradation provoque la formation d'alcools, d'aldéhydes et d'acides⁴. Ces deux dernières substances peuvent réagir avec les bois de cerf et leur apporter de nouvelles dégradations. En plus, à des humidités relatives supérieures à 80 %, les objets peuvent devenir mouillés et le PEG tend à sortir des objets⁵.

Le Lactitol est un produit qui est utilisé depuis très peu de temps dans la conservation des matières organiques gorgées d'eau, et aucune étude sur la stabilité à long terme de ce produit n'a encore été effectuée. Des recherches dans ce domaine devraient donc encore être réalisées, mais il est possible que le Lactitol puisse représenter une alternative intéressante face au traitement au PEG.

Les observations effectuées pendant cette recherche, n'ont pas permis de comprendre si un traitement par imprégnation sous vide partiel permettait de réduire le temps des imprégnations.

Par contre, on a remarqué que de bons résultats pouvaient être obtenus par le séchage lent et contrôlé des objets et ce, sans aucun traitement préliminaire. **Des objets peu dégradés peuvent être séchés tranquillement dans une chambre humide, sans qu'aucun traitement préalable ne soit appliqué**. De cette manière, on pourrait aussi éviter des problèmes de conservation à long terme. Mais réussir à déterminer quels objets nécessitent un traitement de conservation et lesquels n'en ont pas besoin reste plutôt difficile, car dans la plupart des laboratoires de conservation-restauration il n'est pas possible d'effectuer des analyses sur tous les objets pour déterminer leur état de conservation.

Le séchage lent et contrôlé représente aussi la meilleure méthode de séchage pour les bois de cerf gorgés d'eau qui ont subi un prétraitement. Pendant le séchage, l'humidité relative est baissée doucement ce qui limite fortement les tensions et les stress qui pourraient survenir à l'intérieur des bois de cerf lors de l'évaporation de l'eau. En plus, au

⁴ De La Baume S., 1990, p.258

⁵ Grattan D., 1981, p.246

contraire d'un séchage au four, le séchage lent et contrôlé permet à l'eau de sortir de manière plus homogène de l'objet.

La lyophilisation n'est pas une méthode de séchage qui est recommandée pour les bois de cerf. En effet, ce matériau ne supporte pas bien le vide, il se fissure et se casse lorsque la pression atmosphérique est abaissée. De meilleurs résultats pourront probablement être obtenus en appliquant un séchage par lyophilisation à pression atmosphérique. Mais, à ce jour, aucune expérience avec ce type de séchage n'a été effectuée sur les bois de cerf.

Ce travail de recherche n'a malheureusement pas pu être réalisé à grande échelle. En effet, malgré une demande envoyée à plusieurs musées suisses, seul 25 objets ont été mis à disposition pour effectuer ce travail. Ce nombre limité de pièces n'a pas permis d'effectuer toutes les analyses et tous les essais de traitement voulus, et les résultats obtenus ne peuvent pas être étendus avec certitude à tous les traitements de conservation des bois de cerf gorgés d'eau.

En dépit de cela, cette recherche a permis de mettre en évidence certains points intéressants, tout particulièrement sur l'importance du milieu d'enfouissement des pièces, et qui mériteraient d'être mieux étudiés et approfondis.

CONCLUSION

L'étude comparative des différents traitements appliqués à la conservation de bois de cerf gorgés d'eau a été réalisée sur 25 objets provenant de trois sites néolithiques suisses.

Trois produits ont été utilisés pour la conservation des bois de cerf : le polyéthylèneglycol (PEG), le Primal® WS 24 et le Lactitol. Les traitements ont été effectués par imprégnation des objets dans quatre solutions aqueuses différentes. Les bois de cerf ont été immergés dans des bains de PEG 400/1000 à 20 % (2% / 18%) de Primal® WS 24 à 4 % et de Lactitol à 20 et à 30 %. La plupart des imprégnations ont été effectuées à pression atmosphérique mais, pour chaque produit, une imprégnation sous vide partiel a également été accomplie. Les temps d'imprégnation ont une durée variable. Les temps d'imprégnation dans le PEG ont été de deux mois, d'un mois et de deux semaines ; et ceux au Primal® WS 24 et au Lactitol ont été d'un mois et de deux semaines.

Les objets traités au Lactitol ont été séchés dans un four à 50°C, tandis que les objets traités au PEG et au Primal® WS 24 ont été séchés lentement dans une chambre humide, pendant une période de six semaines. L'un des objets qui avait été traité au PEG a subi un séchage par lyophilisation, et pour finir, deux bois de cerf ont été séchés tranquillement, sans avoir reçu de traitement de conservation.

Les différents traitements ont été évalués en tenant compte de leur facilité de mise en oeuvre, du déroulement des traitements, de la pénétration du produit employé, de la consolidation, de la stabilité mécanique apportée au matériau et, enfin de l'aspect final des objets.

L'interprétation des résultats a été faite à partir d'observations, de calculs, de mesures et d'analyses accomplies avant, pendant et après les traitements.

Le nombre limité de bois de cerf mis à disposition pour cette recherche (25), leur état de conservation, leur forme et leur dimensions variées ont parfois rendu l'interprétation des résultats assez difficile.

À la fin des traitements, on a pu observer que tous les bois de cerf avaient subi un certain rétrécissement et que, sur une grande partie des objets, de nouvelles dégradations s'étaient

produites au cours du séchage. Des petites craquelures et des fissures sont apparues sur plusieurs artéfacts, et un objet s'est cassé en plusieurs morceaux. Par contre, aucune déformation n'a été observée.

En tenant compte de toutes les données récoltées pendant cette étude, on a pu remarquer que la réaction des bois de cerf au séchage était essentiellement dictée par leur état de conservation. Les traitements appliqués ont apporté une certaine stabilité mécanique aux objets, mais leur influence sur la conservation des bois de cerf est assez limitée.

Entre les trois produits employés, le PEG et le Lactitol semblent donner de meilleurs résultats que le Primal® WS 24.

Une imprégnation à une concentration de 20 % de Lactitol semble être plus efficace pour la conservation des bois de cerf que celle à 30 %. Le Lactitol apporte une meilleure stabilité mécanique aux objets peu dégradés que ceux qui sont très dégradés ; cependant dans les deux cas, le soutien apporté au bois de cerf est satisfaisant.

Par rapport au PEG, les traitements au Lactitol permettent de réduire le temps d'imprégnation. Les traitements peuvent être arrêtés après une ou deux semaines d'imprégnations, tandis que la pénétration du PEG dans les bois du cerf nécessite environ un mois. Les imprégnations au Lactitol semblent aussi être moins sujettes à une contamination de microorganisme que celles au PEG.

Le grand désavantage des traitements au Lactitol est constitué par la nécessité de sécher les objets à une température de 50°C, ce qui comporte plusieurs problèmes, comme un séchage hétérogène et trop rapide. De plus, si le séchage est insuffisant, le Lactitol trihydrate peut se cristalliser à l'intérieur des objets, en augmentant de volume, ce qui peut provoquer de nouveaux dégâts, comme cela s'est produit sur certains objets de cette recherche.

En raison de nombreuses difficultés qui peuvent se produire lors du séchage, ce produit ne peut donc pas être conseillé pour la conservation des bois de cerf gorgés d'eau.

Cependant, en ajoutant du Tréhalose dans les bains de Lactitol, il est peut-être possible de résoudre le problème qui est lié au séchage à 50°C. En effet, ce sucre-alcool empêche la formation du Lactitol trihydrate et le séchage peut donc être accompli à température ambiante. Dans ce cas, le Lactitol pourrait représenter une alternative valable au PEG, mais

aucune étude n'a encore été effectuée sur l'efficacité d'un traitement au Lactitol-Tréhalose pour la conservation des bois de cerf gorgés d'eau.

En l'état de connaissances actuelles, le PEG reste le meilleur traitement pour la conservation des bois de cerf gorgés d'eau. Toutefois, s'il apporte une assez bonne stabilité mécanique aux objets qui sont peu et beaucoup dégradés, le PEG a tendance à être instable et se dégrade avec le temps. Cette dégradation provoque la formation d'aldéhydes et d'acides, qui sont réactifs vis-à-vis des bois de cerf. D'autre part, les traitements effectués avec ce produit sont assez longs et on rencontre souvent des problèmes de microorganismes dans les bains. Enfin, à des humidités relatives supérieures à 80 % les objets peuvent devenir mouillés, et le PEG tend alors à sortir lentement des objets.

Pendant cette étude, on a pu remarquer que de bons résultats peuvent aussi être obtenus en laissant sécher tranquillement les objets dans une chambre humide, sans qu'aucun traitement préliminaire ne soit appliqué. Pour des objets en bon état, un traitement de conservation n'est donc pas toujours nécessaire, mais il est difficile de déterminer par avance quels objets nécessiteront ou non un traitement.

En ce qui concerne les différents modes de séchages, le séchage lent et contrôlé est le procédé de séchage qui est le plus sûr et le plus pratique pour la conservation des bois de cerf gorgés d'eau. Après les expériences accomplies, la lyophilisation n'est pas recommandée sur ce type de matériau, puisque le vide provoque d'importants dégâts sur le bois de cerf.

Si pendant cette recherche, plusieurs phénomènes intéressants ont pu être observés, il faut se garder de tirer des conclusions hâtives car, cette étude ne se base que sur un nombre limité de bois de cerf. Ces constatations ne peuvent donc pas être étendues avec certitude à tous les traitements de conservation des bois de cerf gorgés d'eau.

BIBLIOGRAPHIE

- **Abellonet L.**, La conservation du matériel osseux. Etude taphonomique des gisements préhistoriques, *in* : Conservation-restauration des bien culturels, déc. 1989, p.63-64.
- **Amoingon J.**, La lyophilisation, L'atmosphère raréfiée dans un lyophilisateur, Influence sur la conservation des lyophilisats, Sefefim ed., Boulogne 1996.
- **Bergeron A. et Rémillard F.**, L'os l'ivoire et l'andouiller ; *in* : L'archéologue et la conservation, Vade mecum québécois, chap. 3.1, Ed. Les publications du Québec, Québec 1991, p. 44-54.
- **Billamboz A.**, Industrie du bois de cerf en Franche-Comté, *in* : Gallia préhistoire : fouilles et monuments archéologiques en France métropolitaine, Tome 20, Fascicule 1, édition du centre national de la recherche scientifique, Paris 1977, p. 91-176.
- **Billamboz A.**, L'industrie en bois de cervidés de la station littorale d'Auvernier-Port : essai d'étude synoptique, Besançon, Université de Besançon 1982.
- **Bilz M., Dean L., Grattan D.W., McCawley J.C. and McMillen L.**, A study of the thermal breakdown of polyethylene glycol, *in* : Proceeding of the 5th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Hoffman P., Dally T. and Grant T. eds., Portland/Maine 16-20 Aug. 1993, p. 167-187.
- **Bricht M.H.**, Soil as a medium of preservation for artifacts, *in* : Handbook of Field Conservation, Royal Danish Academy of Fine Arts, School of Conservation, Copenhagen 1994, p. 23-45.
- **Bubenik A.B.**, Epigenetical, Morphological, Physiological, and Behavioral Aspect of Evolution of Horns, Pronghorns, and Antler, *in* : Horn, Pronghorns and Antler. Evolution, Morphology, Physiology and Social Significance, Bubenik G.A. and Bubenik A.B. Ed., chap.1, Springer-Verlag, New York 1990, p. 3-113.

- **Bunn M.**, *Saran as a treatment of bone*, in : Archaeological Bone, Antler and Ivory, Occasional Paper number 5, United Kingdom Institute for Conservation of Historic and Artistic Works of Art, London 1987, p. 28-33.
- **Chahine C. and Rottier C.**, *Influence du vieillissement artificiel sur le cuir et le parchemin traités au polyéthylène glycol* : in : Les documents graphiques et photographiques, analyse et conservation, Travaux du Centre de recherche sur la conservation des documents graphiques 1994-1998, Direction des archives de France, Paris 1999, p. 75-108.
- **Cristoferi E.**, Gli avori, problemi di restauro, Nardini editore, Firenze 1992.
- **Cronyn J.M.**, *Agents of deterioration and preservation*, in : The Elements of Archaeological Conservation, chap.2, Routledge ed., London 1990, p. 14-42.
- **Cronyn J.M.**, *General techniques of conservation*, in : The Elements of Archaeological Conservation, chap.3, Routledge ed., London 1990, p. 43-101.
- **Cronyn J.M.**, *Organic materials*, in : The Elements of Archaeological Conservation, chap.6, Routledge ed., London 1990, p. 238-293.
- **De La Baume S.**, *Les matériaux organiques*, in : La conservation en archéologie, M.-C. Berducou dir., chap. VI, éd. Masson, Paris 1990, p. 222-270.
- **De Monbrison A.**, *Les cervidés*, in : Le grand livre de la chasse, volume 2, Editio-Service S.A., Genève 1972, p. 34-88.
- **Ellam D.**, *Wet bone : the potential for freeze-drying*, in : Archaeological Bone, Antler and Ivory, Occasional Paper number 5, United Kingdom Institute for Conservation of Historic and Artistic Works of Art, London 1987, p. 34-35.
- **Ferretti M.**, *Infrared Spectroscopy*, in : Scientific Investigations of Works of Art, chap.7, ICCROM, Rome 1993, p. 33-37.
- **Florian M.-L. E.**, *Deterioration of organic materials other than wood*, in : Conservation of Marine Archaeological Objects, C. Pearson ed., chap.2, Butterworths ed., London 1980, p. 21-54.

- **Glastrup J.**, Degradation of PEG: a review, *in* : Proceedings of the 6th ICCOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Hoffman P., Grant T., Spriggs J.A. and Daley T. eds, York UK 9-13 Sep. 1996, p. 377-384.
- **Godfrey I.M., Ghisalberti E.L., Beng E.W., Byrne L.T. and Richardson G.W.**, The analysis of ivory from a marine environment, *in* : Studies in conservation 47, 2002, p. 29-45.
- **Goss R.J.**, Developmental Anatomy of Antlers, *in* : Deer Antler. Regeneration, Function and Evolution, chap. 7, Academic Press Ed, New York 1983, p. 133-168.
- **Grattan D.W. and Clarke R.W.**, Conservation of waterlogged wood, *in* : Conservation of Marine Archaeological Objects, Pearson C. ed., chap.9, Butterworths ed., London 1980, p.164-206.
- **Grattan D.**, A practical comparative study of treatment for waterlogged wood part II, the effect of humidity on treated wood, *in* : Proceedings of the ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Grattan D.W. ed., Ottawa 1981, p. 243-252
- **Hedges R.E.M.**, Potential information, its recovery and preservation, from archaeological bone, *in* : Archaeological Bone, Antler and Ivory, Occasional Paper number 5, United Kingdom Institute for Conservation of Historic and Artistic Works of Art, London 1987, p. 22-23.
- **Hiron X. et Tran Q.K.**, Etude du vieillissement de l'association bois/PEG sur des objets traités par lyophilisation depuis 10 ans, *in* : Proceedings of the 7th ICOM-CC Wet Organic Archaeological Materials Conference, Bonnot-Diconne C., Hiron X., Tran Q.K., Hoffman P. eds, Grenoble/France 1998, p. 143-150.
- **Hiron X.**, Etablissement d'une procédure de traitement pour une collection d'andouillers provenant du site néolithique de Chalain, XVIII^{ème} journées des restaurateurs en archéologie, note technique n°01-621/XH, 30.11.2001, non publié.
- **Hodges H.**, Antler, Bone, Horn and Ivory, *in* : Artifacts. An introduction to early materials and technology, chap. 12, John Baker ed., London 1981, p. 153-155.

- Hoffmann P., On the stabilisation of waterlogged oakwood whit PEG.II. designer a two-step treatment for multi-quality timbers, *in* : Studies in conservation 31, 1986, p. 103-113.
- Honegger M., Marin NE-Les Piécettes au Néolithique : une station littorale d'exception, *in* : Annuaire de la Société Suisse de Préhistoire et d'Archéologie 84, 2001, p. 29-42.
- Horie C.V., Acrylic resins, *in* : Materials for conservation, organic consolidants, adhesives and coatings, chap.8, Butterworths, London 1987, p. 103-112.
- Institut canadien de conservation, Entretien des objets en ivoire, en os, en corne et en bois de cervidé, Note de l'ICC 6/1, Institut canadien de conservation, Ottawa 1989 (première édition 1983).
- Imazu S. and Morgos A., Conservation of waterlogged wood using sugar alcohol and comparison the effectiveness of Lactitol, sucrose and PER 4000 treatments, *in* : Proceedings of the 6th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Hoffman P., Grant T., Spriggs J.A. and Daley T. eds, York UK 9-13 Sept. 1996, p. 235-256.
- Imazu S. and Morgos A., Conservation of waterlogged wood using Lactitol, Text prepared for the symposium "Treatment of waterlogged wood with the Lactitol method" organized by the Swiss National Museum, Zürich 13 Dec. 1999, p.2-37, non publié.
- Imazu S. and Morgos A., Manual for the conservation of waterlogged wood using Lactitol at elevated temperature, The Swiss National Museum, Zürich 13 Dec. 1999, p.1-3, non publié.
- Imazu S. and Morgos A., Method for the Conservation of Waterlogged Wood Using Sugar Alcohol Part II: Guidelines for the Conservation of Waterlogged Wood Using a Lactitol and Trehalose Mixture in the Impregnation Solution, 4 June 2001, p. 1-6, non publié.
- Imazu S. and Morgos A., An Improvement on the Lactitol Conservation Method Used for the Conservation of Archaeological Waterlogged Wood using (The Conservation Method Using a Lactitol and Trehalose Mixture), 2002, p. 1-16, non publié.

- **Jenssen V.**, Conservation of wet organic artefacts excluding wood, *in* : Conservation of Marine Archaeological Objects, Pearson C. ed., chap.8, Butterworths ed., London 1980, p. 122-163.

- **Johansson L.-U.**, Bone and related materials, *in* : In situ archaeological conservation, Proceedings of meetings April 6-13 Mexico, Hodges H.W.M. ed, Instituto Nacional de Antropologia e Historia, Paul Getty Trust ed., Mexico City 1986, p. 132-137.

- **Kokabi M.**, Skelettreste als Rohmaterial : Material, Methode, Technik, *in* : Knochenarbeit: Artefakte aus tierischen Rhostoffen im Wandel der Zeit, Begleitheft zur Ausstellung im Saalburg-Museum, Kokabi M., Schlenker B. und Wahl J. dir., Bad Homburg v.d.H 1996, s. 7-26.

- **Koob S.P.**, The Consolidation of Archaeological Bone, *in* : Adhesives and Consolidants, IIC Preprints of the Contributions to the Paris Congress, 2 – 9 September 1984, Bromelle N.S., Pye E.M., Smith P. and Thomson eds., IIC, London 1984, p. 98-102.

- **Kres A. L. and Lovell N.C.**, A Comparison of Consolidants for Archaeological Bone, *in* : Journal of Field Archaeology, Volume 22 : Number 1, 1995, p. 508-515.

- **Krzyszkowska O.**, Ivory and Related Materials. An Illustrated Guide, Classical Handbook 3, Institute of Classical Studies ed., London 1990.

- **MacGregor A.**, Raw material, *in* : Bone, Antler, Ivory and Horn: The Technology of Skeletal Materials Since the Roman Period, chap. 1, London 1985, p. 1-23.

- **McCawley J., Grattan D.W. and Cook C.**, Some Experiments in freeze-drying: design and testing of a non-vacuum freeze dryer, *in* : Proceedings of the ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Grattan D.W. ed., Ottawa 1981, p. 253-262.

- **Mühlethaler B.**, Typical properties of waterlogged wood, *in* : Conservation of waterlogged wood and wet leather, chap. 2, Eyroles ed., Paris 1973, p. 11-23.

- **Murray H.**, Large Scale conservation of waterlogged bone, antler, ivory and horn : the Mary Rose, *in* : Archaeological Bone, Antler and Ivory, Occasional Paper number 5, United Kingdom Institute for Conservation of Historic and Artistic Works of Art, London 1987, p. 26-27.
- **Nidau A.**, Sutz-Lattrigen, Lattrigen Hauptstation Tauchgrabung seit 1993 : neolithische Ufersiedlungen, *in* : Archäologie im Kanton Bern: Fundberichte und Aufsätze, Band 4 A Staatlicher Lehrmittelverlag Bern , Bern 1999, s. 30-37.
- **O'Connor S.**, The identification of osseous and keratinaceous materials at York, *in* : Archaeological Bone, Antler and Ivory, Occasional Paper number 5, United Kingdom Institute for Conservation of Historic and Artistic Works of Art, London 1987, p. 9-21.
- **O'Connor T.P.**, On the structure, chemistry and decay of bone, antler and ivory, *in* : Archaeological Bone, Antler and Ivory, Occasional Paper number 5, United Kingdom Institute for Conservation of Historic and Artistic Works of Art, London 1987, p. 6-8.
- **Odegaard N., Carroll S. and Zimmt S.**, Spot tests for metals, *in* : Material characterization tests for objects of art end archaeology, chap.4, Archetype Publications, 2000, p. 33-98.
- **Penniam T.K.**, Pictures of ivory and other animal teeth, bone and antler: with a brief commentary on their use in identification, Occasional papers on technology 5, Oxford University Press, Oxford 1952.
- **Perrot J.** (avec la participation de Genoud C. et Gassmann P.), Le Cerf, *in* : La Salamandre n° 133, août 1999, p. 20-41.
- **Piel-Desruisseaux J.-L.**, Outils préhistoriques, forme, fabrication, utilisation, éd Masson, Paris 1990.
- **Povenzano N.**, Techniques et procédés de fabrication des industries osseuses terramaricoles de l'Âge du bronze, *in* : Préhistoire d'os, Recueil d'études sur l'industrie osseuse préhistorique, Julien M. dir., publication de l'Université de Provence, Aix-en-Provence 1999, p.273-288.

- **Rinuy A.**, Méthodes d'analyses, *in* : L'œuvre d'art sous le regard des sciences, catalogue réd. Par Rinuy A. et Schweizer F., Genève Musée d'Art et d'Histoire : Slakine, 1994, p. 221-226.
- **Roberts J.D.**, Acrylic colloidal dispersion as pre-consolidants for waterlogged archaeological glass, *in* : ICOM Committee for Conservation, 7th Triennial Meeting, Copenhagen 10-14 Sep. 1984, p.21-22.
- Schweizerisches Landesmuseum Zurich, Zur Konservierung von Knochen und Hirschhorn, CLP, Merkblatt n°62, 1971, non publié.
- **Seaterhaug R.**, Conservation of Wet Whale Bone, *in* : Proceedings of the 7th ICOM-CC Wet Organic Archaeological Materials Conference, Bonnot-Diconne C., Hiron X., Tran Q.K., Hoffman P. eds, Grenoble/ France 1998, p. 254-257.
- **Singley K.**, Bone, Ivory and Related Materials, *in* : The Conservation of Archaeological Artifacts from Freshwater Environments, Lake Michigan Maritime Museum ed., Michigan 1988, p. 84-87.
- **Snow C.E. and Weisser T.D.**, The examination and Treatment of Ivory and Related Materials, *in* : Adhesives and Consolidants, IIC Preprints of the Contributions to the Paris Congress, 2 – 8 September 1984, Bromelle N.S., Pye E.M., Smith P. and Thomson eds., IIC, London 1984, p. 141-145.
- **Stone T.T., Dickel D.N. and Doran G.H.**, The Preservation and Conservation of Waterlogged Bone from the Windover Site, Florida: Comparison of Methods, *in* : Journal of Field Archaeology, Volume 17, number 1, Boston University ed., 1990, p. 177-186.
- **Ulbricht I.**, Das Geweih, *in* : Die Geweihverarbeitung in Haithaber, kap. 3, Karl Wachholz Verlag Ed., Neumünster 1978, s. 16-63.
- **Vasquez J.**, La conservation du matériel osseux, *in* : Bulletin de liaison 7-8, Group d'anthropologie et d'archéologie funéraire d'Ile de France, 1996, p. 12-14.

- **Voruz J.-L.**, Planches typologiques, *in* : Le néolithique suisse : bilan documentaire, Université de Genève, Genève 1991, p.83-119.
- **White E.M. and Hannus L.A.**, Chemical Weathering of Bone in Archaeological Soils, *in* : American Antiquity 48(2), 1983, p. 316-322.
- **Young G.S.**, Thermodynamic Characterization of Skin, Hide and Similar Materials Composed of Fibrous Collagen, *in* : Studies in Conservation 43, 1998, p.65-79.

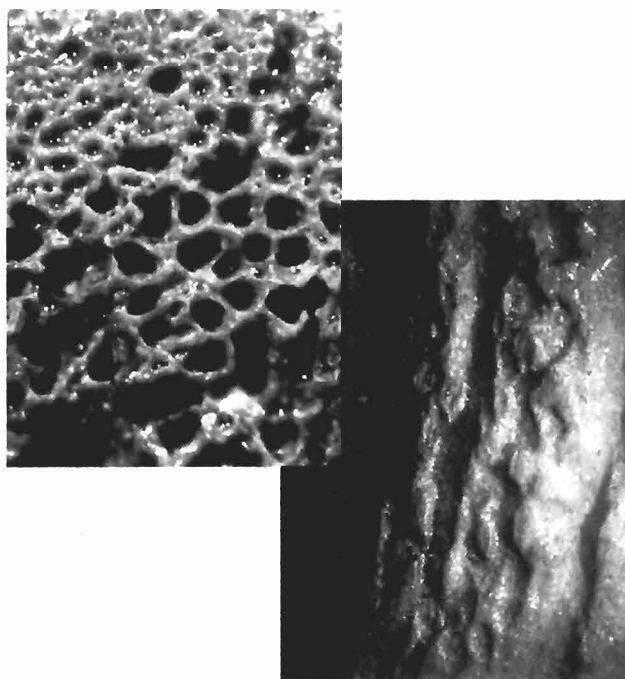
Haute école d'arts appliqués du canton de Neuchâtel

Filière : Conservation-Restauration, orientation archéologie, ethnographie

Travail de diplôme, 30.9.2002

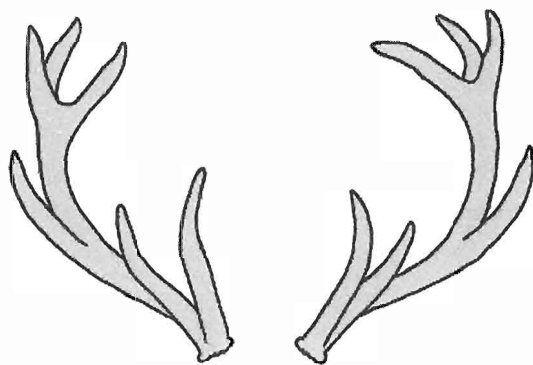
Annexes

Étude comparative entre différents traitements appliqués à la conservation des bois de cerf gorgés d'eau en vue d'un séchage



Barbara Pozzi

Mentor : Giacomo Pegurri



Annexe 1 :

Fiches des objets

SOMMAIRE

Annexe 1 : Fiches des objets	p.1
Annexe 2 : Spectres FTIR	p.90
Annexe 3 : pH des bois de cerf	p.103
Annexe 4 : Graphiques de l'augmentation de poids des objets lors des imprégnations	p.105
Annexe 5 : Graphiques de la diminution de poids des objets lors des séchages	p.111
Annexe 6 : Données mesurées pendant la lyophilisation	p.115
Annexe 7 : Calques de la forme des objets avant et après traitement	p.118

Sutz-Lattrigen 82739**Description de l'objet gorgé d'eau :**

Fragment de l'empaumure d'un bois de cerf, déchet de fabrication.

Le fragment représente le début d'une ramification, avec une pointe coupée et l'autre cassée. L'objet est de couleur brun assez foncé, avec des parties plus rougeâtres. Il présente une circonférence complète, et il offre une apparence solide. La partie spongieuse est encore présente à l'intérieur du bois de cerf, mais deux fins trous irréguliers traversent toute cette partie spongieuse, depuis le sommet des points cassés jusqu'à la base de l'objet. L'intérieur des cavités est obturé par du sable.

La surface de l'objet est peu grenue et assez usée. Sur la pièce, aucune algue et micro-organisme n'ont été observés. Aucune fissure n'est présente sur l'objet.

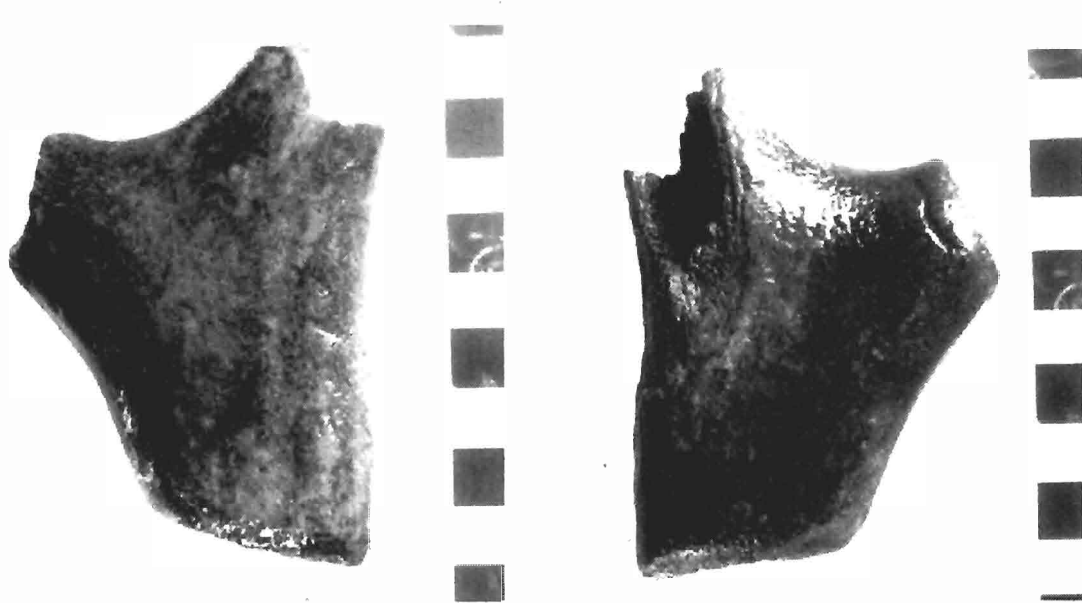
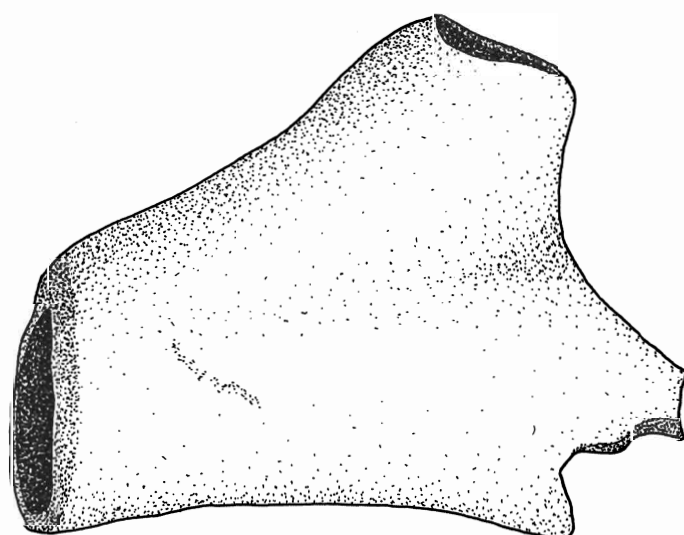
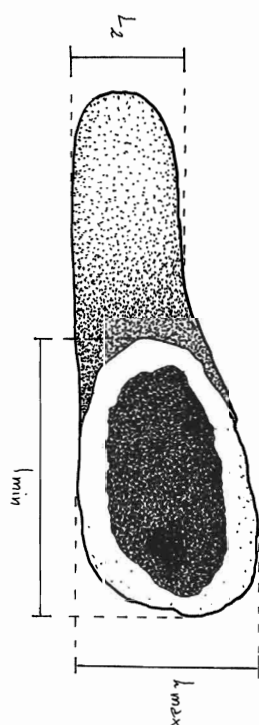
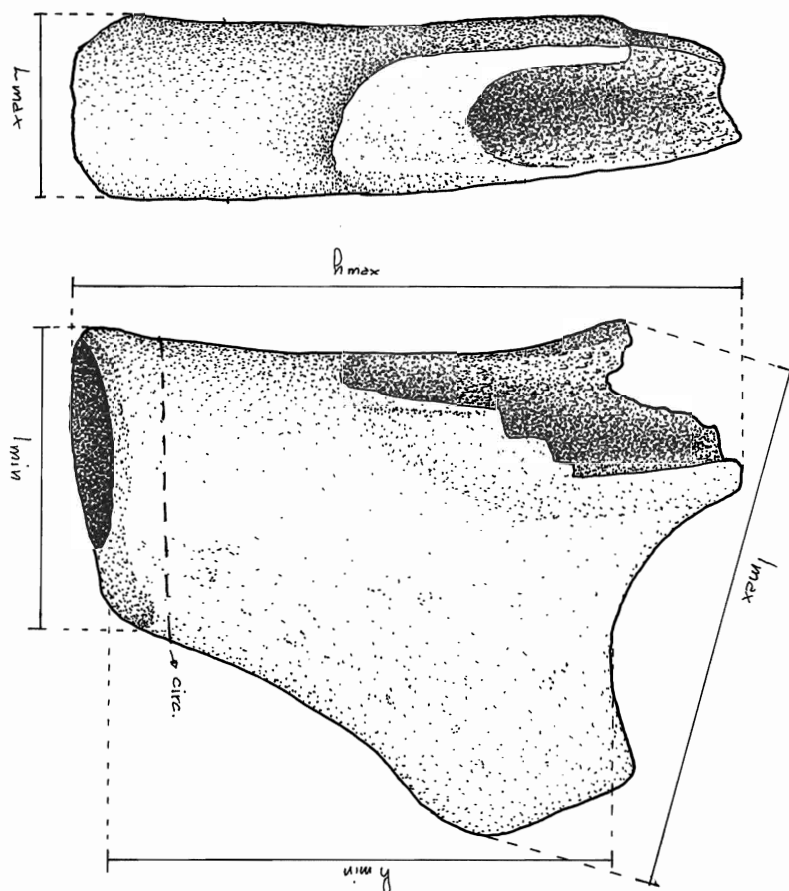


Fig.1 et 2 : Objet avant traitement (échelle 1 :1,4)

Dimensions et poids de l'objet :

SL 82739

1:1

	avant traitement	après traitement	différence	différence en %
h_{\max}	88,50 mm	88,00 mm	- 0,50 mm	- 0,56 %
h_{\min}	69,35 mm	68,70 mm	- 0,65 mm	- 0,94 %
l_{\max}	68,00 mm	67,90 mm	- 0,10 mm	- 0,15 %
l_{\min}	38,00 mm	37,90 mm	- 0,10 mm	- 0,26 %
L_{\max}	25,65mm	25,50 mm	- 0,15 mm	- 0,58 %
L_2	17,70 mm	17,55 mm	- 0,15 mm	- 0,84 %
circ.	109,50 mm	108,65 mm	- 0,85 mm	- 0,78 %
retrait moyen				- 0,59 %
Poids	83,78 g.	46,67 g.	- 37,11 g.	- 44,29 %

Traitement :

- Nettoyage de l'objet avec un pinceau, sous un fin jet d'eau déminéralisée.
- Immersion de l'objet dans un mélange de PEG 1000 (18 %), PEG 400 (2 %) et d'eau déminéralisée pendant 1 mois.
- Congélation de l'objet à une température de -40°C pendant 24 heures
- Lyophilisation du bois de cerf pendant 24 heures
- Consolidation de l'objet avec du Paraloid® B72 à 10 % dans le toluène
- Collage des fragments qui se sont cassés pendant le traitement, avec du Paraloid® B72 en tube.

Observations après traitement

Les premières fissures se sont formées sur l'objet lors de la congélation. Ces fissures se sont agrandies en faisant le vide dans l'enceinte du lyophilisateur, jusqu'à se transformer en cassures. Après le traitement, plusieurs fragments de la partie compacte du bois de cerf se sont détachés de la partie spongieuse. L'objet était très fragile, et la partie spongieuse tombe en miettes. Une consolidation de l'artefact était indispensable.

Pendant la lyophilisation, des champignons se sont développés sur la partie spongieuse de l'objet.

La couleur de l'objet est naturelle mais à cause d'une consolidation au Paraloid® B72, la surface de l'objet est légèrement brillante.

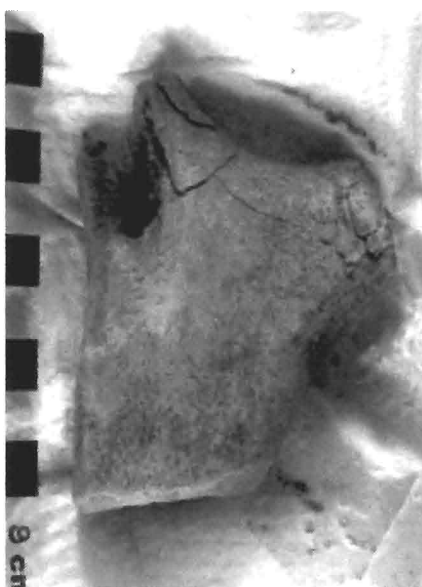


Fig.3 : Objet après la lyophilisation (échelle 1 :1,4)

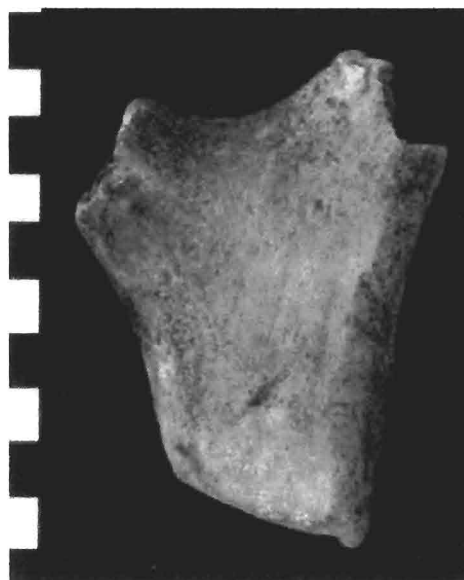


Fig.4 et 5 : Objet après le collage et la consolidation au Paraloid® B72 (échelle 1 : 1,4)

Sutz-Lattrigen 82751Description de l'objet gorgé d'eau :

Petit fragment de pointe d'andouiller de bois de cerf, déchet de fabrication.

La pièce est de couleur brun assez clair, avec des parties plus rougeâtres. L'objet présente une circonférence complète et il offre une apparence solide. La partie spongieuse est très dense avec des pores très petits. En surface, on peut parfois observer une sorte de "poils" noirs. Aucune fissure n'est présente sur l'objet.

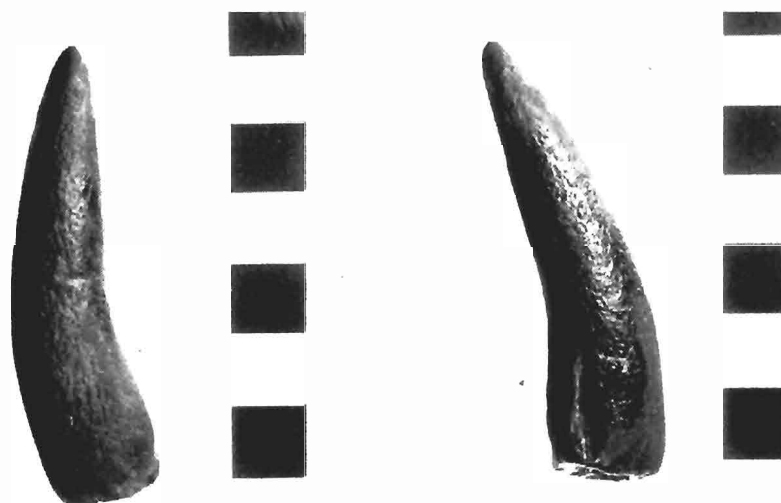


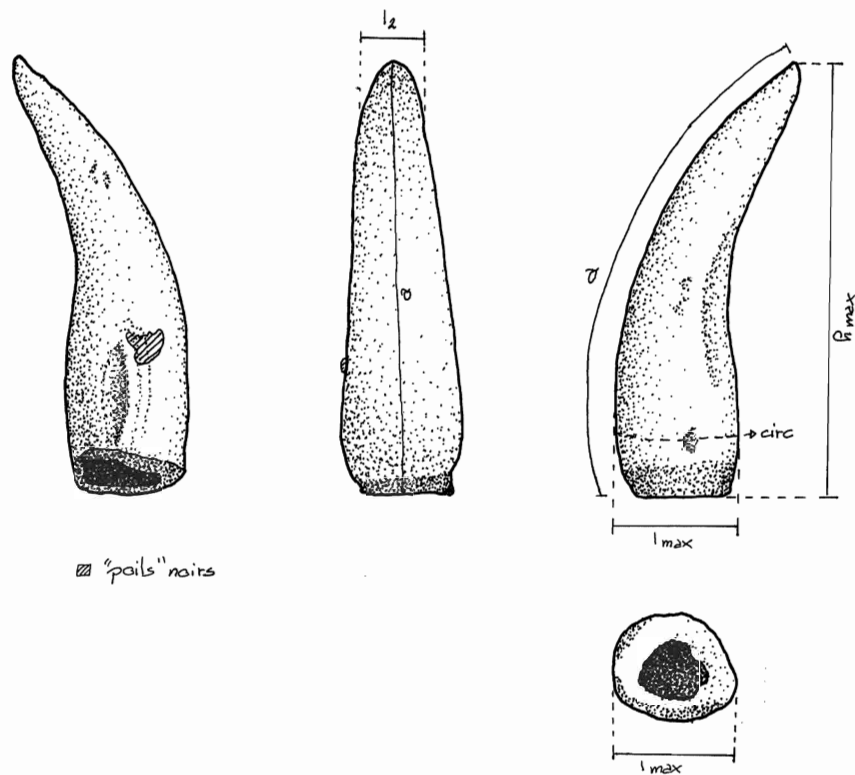
Fig.1 et 2 : Andouiller avant traitement (échelle 1 :1,1)

Dimensions et poids de l'objet :

	avant traitement	après traitement	différence	différence en %
h_{\max}	56,90 mm	56,90 mm	0 mm	0 %
a	67,90 mm	67,80 mm	- 0,10 mm	- 0,10 %
l_{\max}	15,95 mm	15,95 mm	0 mm	0 %
l_2	7,70 mm	7,70 mm	0 mm	0 %
circ.	52,00 mm	52,00 mm	0mm	0 %
retrait moyen				- 0,03 %
Poids	12,89 g.	9,66 g.	- 3,26 g.	- 25,06 %

SL 82751

1:1

Traitement :

- Nettoyage de l'objet avec un pinceau, sous un fin jet d'eau déminéralisée.
- Immersion de l'objet dans un bain de Lactitol, à une concentration de 20 % dans l'eau déminéralisée, pendant un mois.
- Rapide rinçage de l'objet avec de l'eau déminéralisée, pour enlever le surplus de Lactitol.
- Léger séchage de la surface de la pièce avec du papier ménage et application d'une fine couche de cristaux de Lactitol monohydrate en surface, pour favoriser sa formation.
- Séchage du bois de cerf dans le four à 50°C pendant 5 heures.

Observations après traitement :

À la fin du séchage au four, trois petites fissures se sont formées sur l'andouiller. Environ un mois après la fin du séchage, deux de ces fissures se sont beaucoup agrandies. Très probablement, le séchage était insuffisant et de l'eau était encore présente à l'intérieur de l'objet. Le Lactitol trihydrate s'est cristallisé, en augmentant de volume, et il a provoqué ces nouvelles dégradations sur le bois de cerf. L'objet a été remis au four, à une température de 50°C pendant deux heures, de manière à fondre le Lactitol trihydrate et le recristalliser en monohydrate.

La pièce n'a pas subi de déformations et elle ne s'est presque pas rétrécie. L'aspect final de l'objet présente une couleur naturelle, et les détails de la surface sont toujours bien visibles. Il est solide et ne nécessite pas de consolidations ultérieures.



Fig.3 et 4 : Objets après le séchage au four (échelle 1 :1,1)

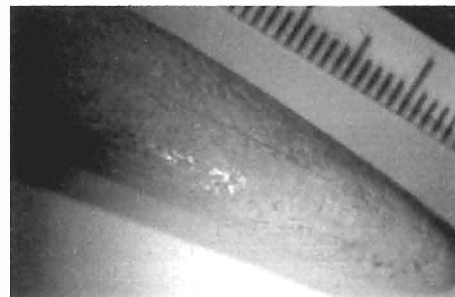


Fig.5 et 6 : Fissures présentes sur l'objet après le séchage au four (échelle 1 :0,65 et 1,18)



Fig.7, 8, 9 et 10 : Andouiller un mois après la fin du séchage avec des nouvelles fissures
(échelle 1 : 1,1)

Sutz-Lattrigen 82756Description de l'objet gorgé d'eau :

Fragment de merrain de bois de cerf, déchet de fabrication.

La pièce est de couleur brun-clair-jaunâtre. L'objet a une forme cylindrique et, à l'intérieur, la partie spongieuse est encore présente. Il a une apparence solide, mais la surface est assez fragile. Sur certaines zones, la surface est absente. La surface, qui est très usée, présente beaucoup de veinures. La pièce est contaminée par plusieurs micro-organismes plus particulièrement par des algues vertes (*Cladophora* sp.). La partie spongieuse est colonisée par des microorganismes blancs qui possèdent de très longs filaments. On peut aussi observer des sortes de "poils" noirs sur la surface de l'objet. Environ un tiers de la pièce est recouvert par des microorganismes.

L'intérieur de la partie spongieuse est rempli de petits cailloux. Aucune fissure n'est présente sur l'objet.

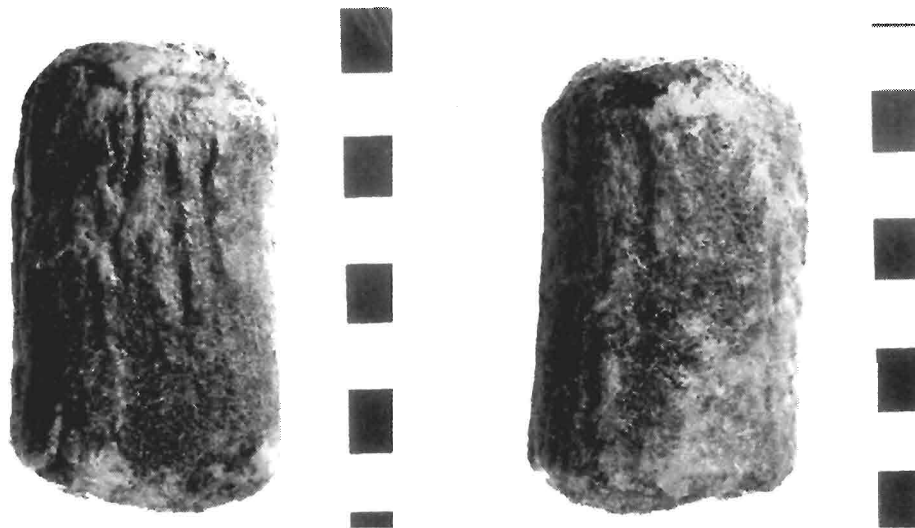


Fig.1 et 2 : Objet avant traitement (échelle 1 :1,25)

Observations après traitement :

À la fin du séchage au four, trois petites fissures se sont formées sur l'andouiller. Environ un mois après la fin du séchage, deux de ces fissures se sont beaucoup agrandies. Très probablement, le séchage était insuffisant et de l'eau était encore présente à l'intérieur de l'objet. Le Lactitol trihydrate s'est cristallisé, en augmentant de volume, et il a provoqué ces nouvelles dégradations sur le bois de cerf. L'objet a été remis au four, à une température de 50°C pendant deux heures, de manière à fondre le Lactitol trihydrate et le recristallise en monohydrate.

La pièce n'a pas subi de déformations et elle ne s'est presque pas rétrécie. L'aspect final de l'objet présente une couleur naturelle, et les détails de la surface sont toujours bien visibles. Il est solide et ne nécessite pas de consolidations ultérieures.



Fig.3 et 4 : Objets après le séchage au four (échelle 1 :1,1)

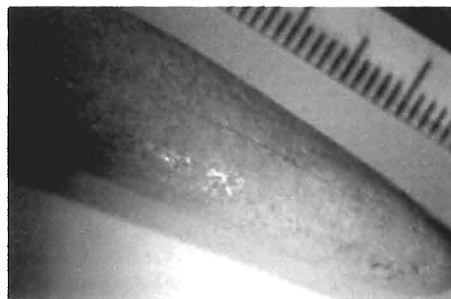
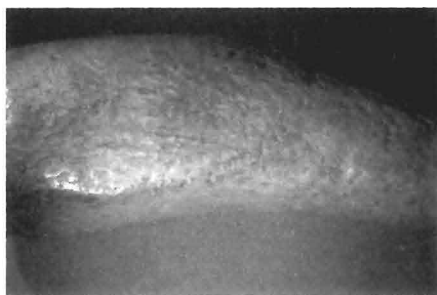


Fig.5 et 6 : Fissures présentes sur l'objet après le séchage au four (échelle 1 :0,65 et 1,18)



Fig.7, 8, 9 et 10 : Andouiller un mois après la fin du séchage avec des nouvelles fissures
(échelle 1 : 1,1)

Sutz-Lattrigen 82756**Description de l'objet gorgé d'eau :**

Fragment de merrain de bois de cerf, déchet de fabrication.

La pièce est de couleur brune claire - jaunâtre. L'objet a une forme cylindrique et, à son intérieur, la partie spongieuse est encore présente. Il a une apparence solide, mais la surface est assez fragile. Sur certaines zones, la surface est absente. La surface, qui est très usée, présente beaucoup de veinures. La pièce est contaminée par plusieurs microorganismes plus particulièrement par des algues vertes (*Cladophora* sp.). La partie spongieuse est colonisée par des microorganismes blancs qui possèdent des très longs filaments. On peut aussi observer des sortes de "poils" noirs sur la surface de l'objet. Environ un tiers de la pièce est recouvert par des microorganismes.

L'intérieur de la partie spongieuse est rempli de petits cailloux. Aucune fissure n'est présente sur l'objet.

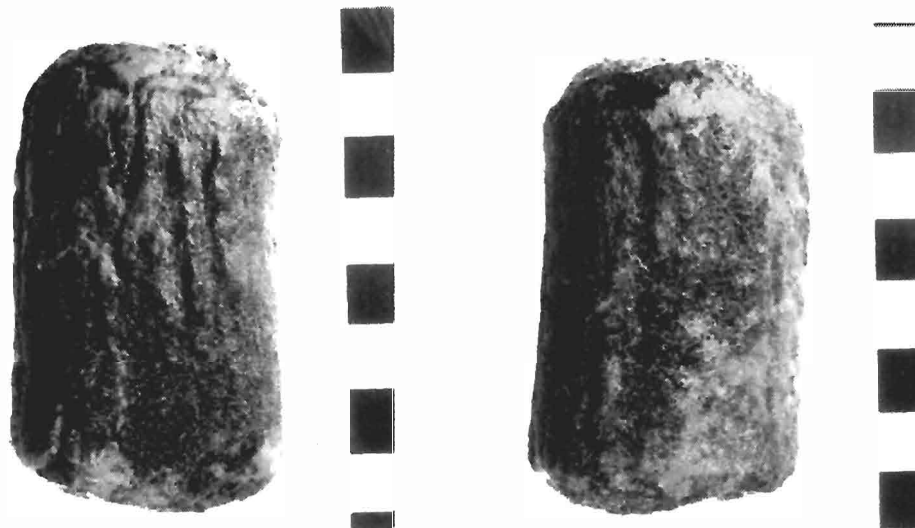


Fig.1 et 2 : Objet avant traitement (échelle 1 :1,25)

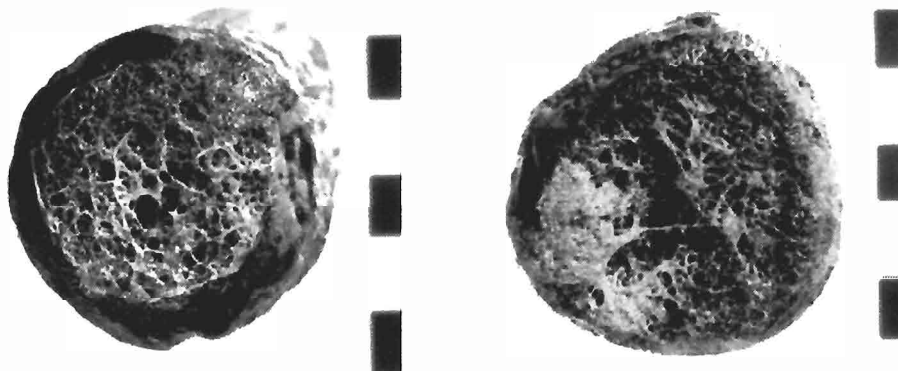


Fig.3 et 4 : Objet avant traitement (échelle 1 :1,25)

Dimensions et poids de l'objet :

	avant traitement	après traitement	différence	différence en %
h_{max}	67,35 mm	65,60 mm	- 1,75 mm	- 2,59 %
l_{max}	38,45 mm	38,40 mm	- 1,15 mm	- 2,99 %
L_{max}	37,50 mm	36,70 mm	- 0,80 mm	- 2,13 %
circ.	123,70 mm	119,30 mm	- 4,50 mm	- 3,60 %
retrait moyen				- 2,83 %
poids	89,11 g.	60,67 g.	- 28,44 g.	- 31,92 %

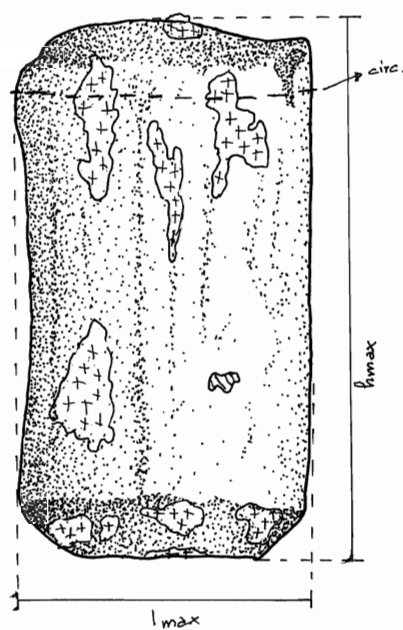
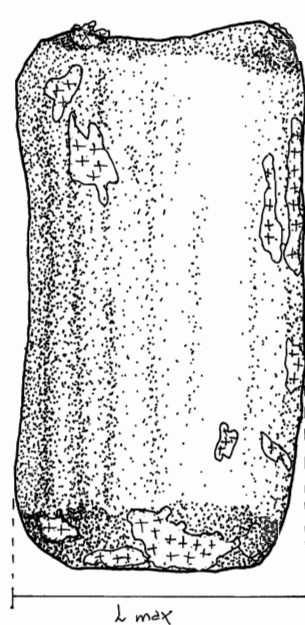
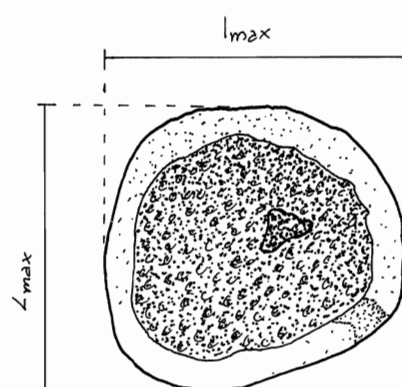
Pour les dimensions voir dessin pag.12

Traitement :

- Nettoyage de l'objet sous un fin jet d'eau déminéralisée. La plus grande partie d'algues a été éliminée avec un pinceau, une petite pince et une spatule en bois.
- Immersion de l'objet dans un mélange de PEG 1000 (18 %), de PEG 400 (2 %) et d'eau déminéralisée pendant deux semaines sous vide partiel.
- Rapide rinçage de l'objet avec de l'eau déminéralisée, pour enlever le surplus de PEG à la surface de l'objet.
- Séchage lent et contrôlé dans une chambre humide pendant six semaines

SL 82756

1:1



 "poils" noirs
  Cladophore sp.

Observations après traitement :

Après traitement, l'objet a subi un rétrécissement assez important, mais il n'a pas subi de déformations. Une très petite fissure s'est formée pendant le séchage près de la base du bois de cerf. L'objet est solide et la couleur est naturelle.

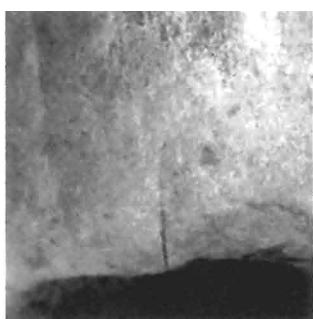
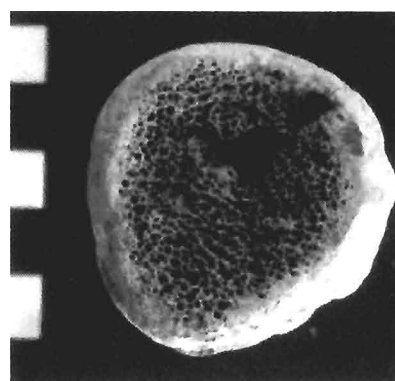
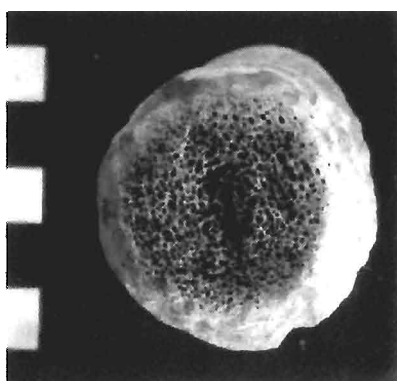


Fig.5, 6, 7 et 8 : Objet après traitement (échelle 1 :1,25)

Fig.9 : Fissure apparue sur la pièce lors du séchage (échelle 1 :0,5)

Sutz-Lattrigen 82778**Description de l'objet gorgé d'eau :**

Fragment de gaine de hache en bois de cerf.

La pièce est de couleur brun assez foncé, avec des parties plus rougeâtres. On distingue très bien le tenon et la couronne de la gaine de hache. Le tenon représente environ un quart de l'objet. La surface est peu grenue et usée, mais elle a une apparence solide. La partie spongieuse du bois de cerf est presque absente de la pièce. Sur la partie spongieuse est présente une tache rougeâtre en forme de fer de cheval. Sous microscope, on peut observer la formation d'une multitude de petits cristaux. D'après des tests micro chimiques, on a pu constater qu'il s'agit d'oxyde de fer.

Un fin voile vert de microorganismes recouvre parfois la surface, et la partie spongieuse de l'objet. La présence de ces microorganismes est visible uniquement sous microscope. Aucune fissure est présente sur la pièce.

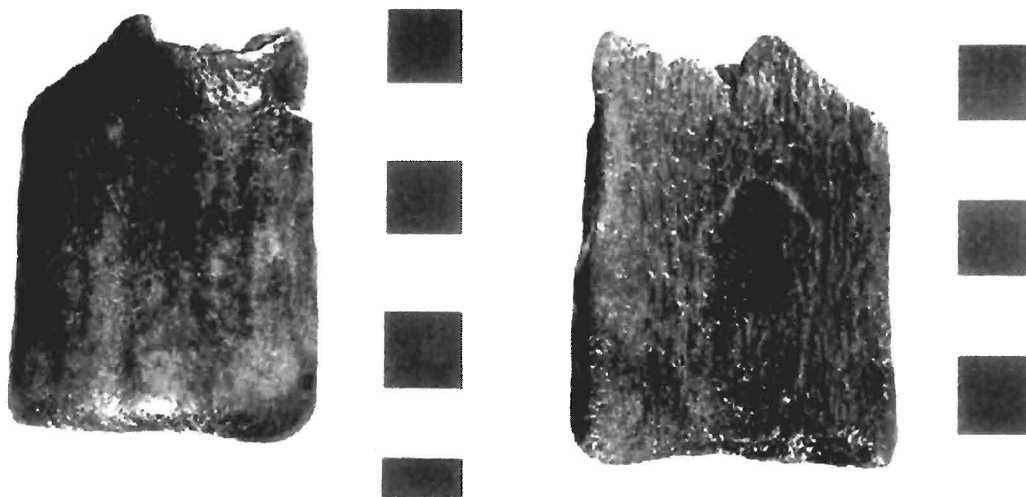


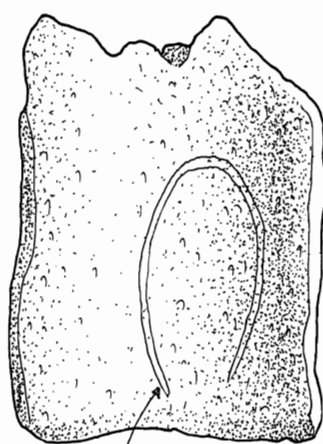
Fig.1 et 2 : Objet avant traitement (échelle 1 :1)

Dimensions et poids de l'objet :

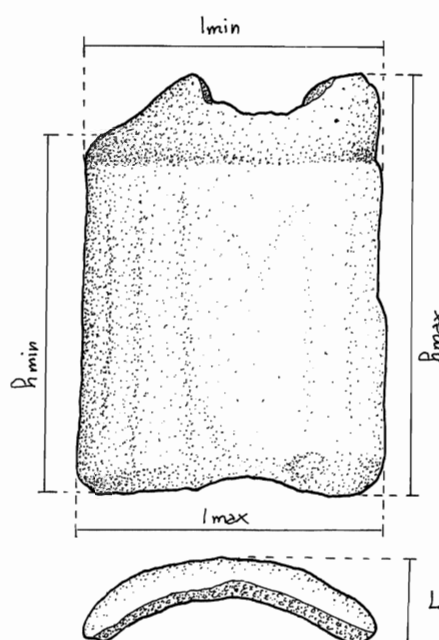
	avant traitement	après traitement	différence	différence en %
h_{max}	55,30 mm	54,90 mm	0,40 mm	- 0,72 %
h_{min}	45,90 mm	45,90 mm	0 mm	0 %
l_{max}	40,20 mm	49,90 mm	- 0,30 mm	- 0,75 %
l_{min}	37,85 mm	37,15 mm	- 0,70 mm	- 1,85 %
L	11,00 mm	11,00 mm	0 mm	0 %
ep_{max}	6,55 mm	6,45 mm	- 0,15 mm	- 1,53 %
ep_{min}	3,40 mm	3,40 mm	0 mm	0 %
retrait moyen				- 0,69 %
poids	17,73 g.	12,93 g.	- 4,80 g.	- 27,07 %

SL 82778

1:1



tache rougeâtre



Traitement :

- Nettoyage de l'objet avec un pinceau, sous un fin jet d'eau déminéralisée. La tache orange et la plus grande partie de microorganismes ont été éliminés avec le nettoyage, mais une petite quantité des microorganismes a pénétrée dans l'objet et elle n'a pas pu être éliminée.
- Immersion de l'objet dans un bain de Lactitol à 30 %, dans l'eau déminéralisée pendant deux semaines.
- Rapide rinçage de l'objet avec de l'eau déminéralisée, pour enlever le surplus de Lactitol.
- Léger séchage de la surface de la pièce avec du papier ménage et application d'une fine couche de cristaux de Lactitol monohydrate en surface, pour favoriser sa formation.
- Séchage du bois de cerf dans le four à 50°C pendant 5 heures.

Observations après traitement :

Après traitement, l'objet a subi un petit rétrécissement et la pièce ne s'est pas déformée. Aucune fissure et aucune craquelure sont apparues sur le bois de cerf. La partie de microorganismes verts encore présente sur l'objet est visible sous microscope, sous forme de petites taches verdâtres. Le bois de cerf est solide, et l'aspect final de l'objet présente une couleur naturelle. Les détails de la surface sont bien visibles.

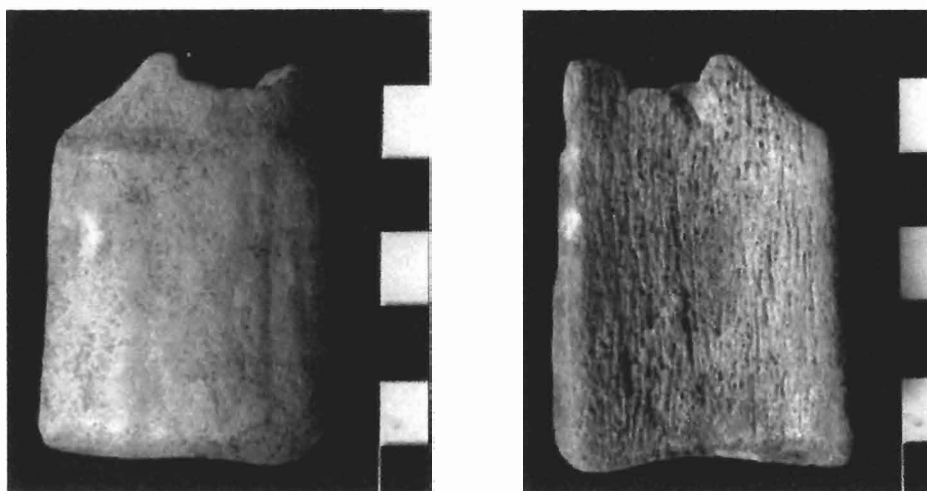


Fig.3 et 4 : Objets après traitement (échelle 1 :1)

Sutz-Lattrigen 82779

Description de l'objet gorgé d'eau :

Fragment de gaine de hache en bois de cerf.

La pièce est de couleur brune assez foncée, avec des parties plus rougeâtres. La surface est très grenue et peu usée. L'objet offre une apparence solide.

Sur la pièce, on distingue à peine ce qu'aurait pu être le tenon de la gaine de hache.

Sur la surface et la partie spongieuse de l'objet sont parfois présentes des sortes de "poils" noirs. Aucune fissure n'est présente sur la pièce.

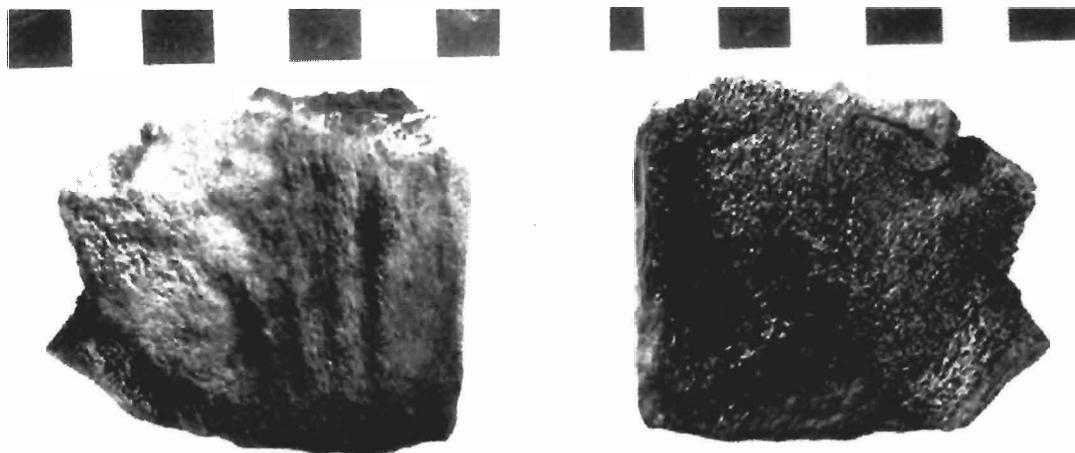
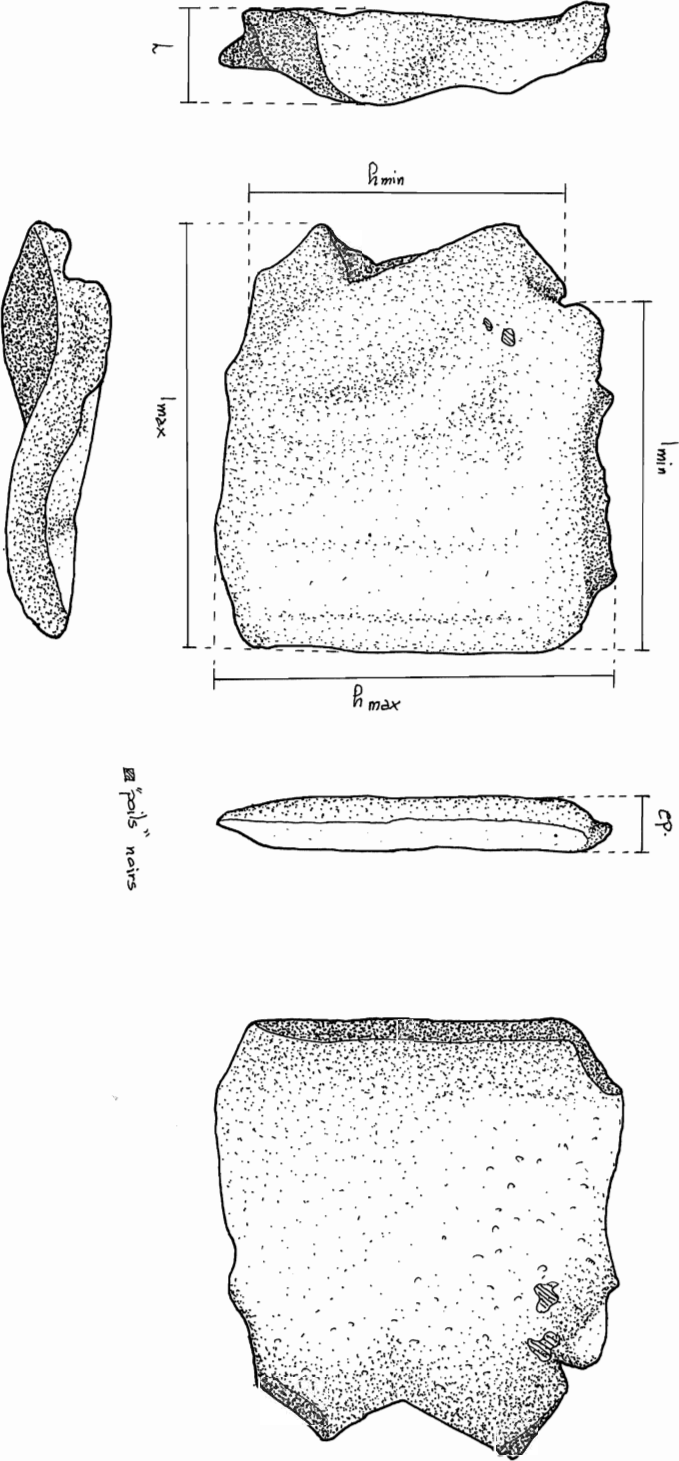


Fig.1 et 2 : Objet avant traitement (échelle 1 :1,25)

Dimensions et poids de l'objet :

	avant traitement	après traitement	différence	différence en %
h_{\max}	50,90 mm	50,90 mm	0 mm	0 %
h_{\min}	38,10 mm	38,10 mm	0 mm	0 %
l_{\max}	57,35 mm	56,70 mm	- 0,65 mm	- 1,13 %
l_{\min}	44,25 mm	43,90 mm	- 0,35 mm	- 0,79 %
L	12,30 mm	12,30 mm	0 mm	0 %
ep.	7,35 mm	7,35 mm	0 mm	0 %
retrait moyen				- 0,32 %
poids	27,76 g.	21,41 g.	- 6,35 g.	- 22,87 %



SL 82779

1:1

Traitement :

- Nettoyage de l'objet avec un pinceau, sous un fin jet d'eau déminéralisée.
- Immersion de l'objet dans un bain de Lactitol à 30 %, dans l'eau déminéralisée, pendant un mois.
- Rapide rinçage de l'objet avec de l'eau déminéralisée, pour enlever le surplus de Lactitol.
- Léger séchage de la surface de la pièce avec du papier ménage et application d'une fine couche de cristaux de Lactitol monohydrate en surface, pour favoriser sa formation.
- Séchage du bois de cerf dans le four à 50°C pendant 5 heures.

Observations après traitement :

Après le séchage au four, aucune fissure et aucune craquelure n'étaient présentes sur la pièce. Mais, environ un mois après la fin du séchage, quatre nouvelles fissures se sont produites. Très probablement, le séchage était insuffisant et de l'eau était encore présente à l'intérieur de l'objet. Le Lactitol trihydrate s'est cristallisé, en augmentant de volume, et il a provoqué ces nouvelles dégradations sur le bois de cerf. L'objet a été remis au four à une température de 50°C pendant deux heures, de manière à fondre le Lactitol trihydrate et à le recristallisé en monohydrate.

L'objet n'a pas subi de rétrécissements en hauteur tandis que sa largeur s'est un peu réduite. Le fragment ne s'est pas déformé et il est solide. L'aspect final de l'objet présente une couleur naturelle et les détails de la surface sont bien visibles.

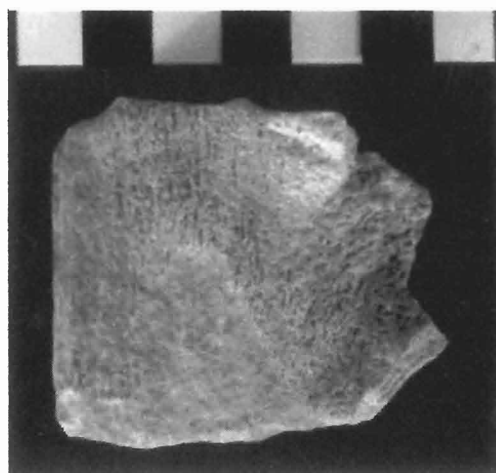
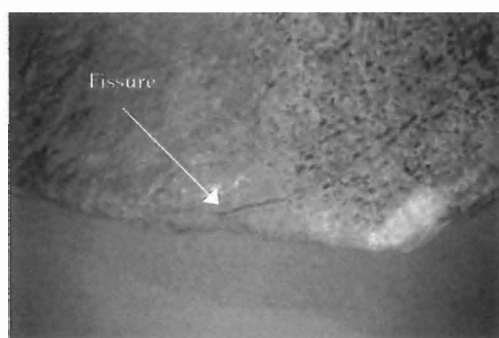


Fig.3 et 4 : Objet après le séchage au four (échelle 1 :1,1)



Fig.5, 6 et 7 : Objet un mois après la fin du séchage au four (échelle 1 :1,1) avec la formation de trois nouvelles fissures (échelle 1 :0,5)



Sutz-Lattrigen 82780

Description de l'objet gorgé d'eau :

Fragment de gaine de hache en bois de cerf.

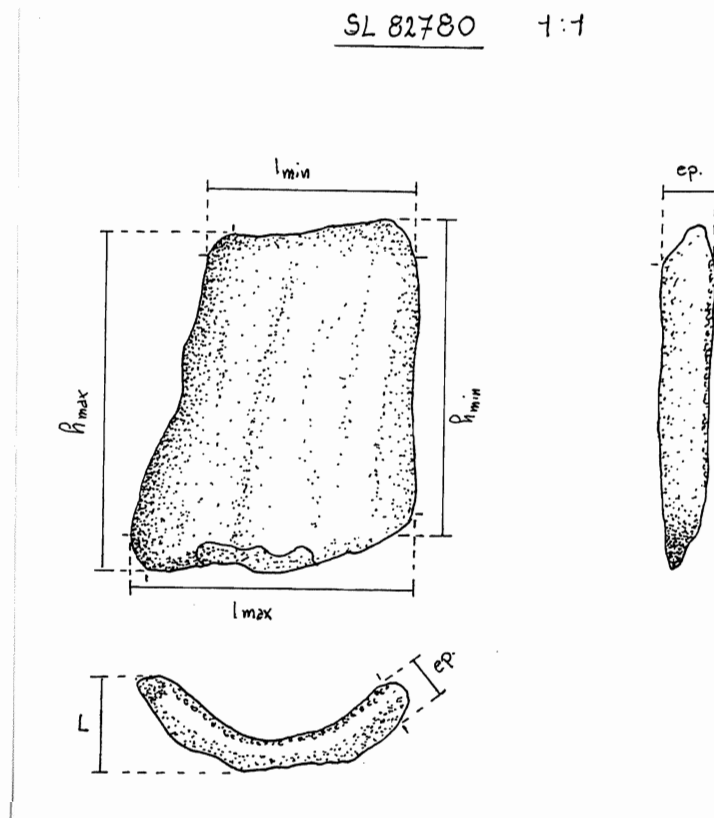
L'objet est de couleur brun foncé, avec des parties plus rougeâtres. La partie spongieuse est presque absente de l'objet. La surface est grenue et peu usée. La pièce offre une apparence solide. Des parties de la surface sont recouvertes par un fin voile de microorganismes verts. La présence de ces microorganismes est visible uniquement sous microscope. Aucune fissure n'est présente sur la pièce.



Fig.1 et 2 : Objet avant traitement (échelle 1 :1)

Dimensions et poids de l'objet :

	avant traitement	après traitement	différence	différence en %
h_{\max}	46,00 mm	45,90 mm	- 0,10 mm	- 0,22 %
h_{\min}	41,60 mm	41,55 mm	- 0,05 mm	- 0,12 %
l_{\max}	36,45 mm	36,20 mm	- 0,25 mm	- 0,68 %
l_{\min}	27,25 mm	27,10 mm	- 0,15 mm	- 0,55 %
L	11,50 mm	11,50 mm	0 mm	0 %
ep.	6,80 mm	6,80 mm	0 mm	0 %
retrait moyen				0,26 %
Poids	12,46 g.	8,19 g.	- 4,27 g.	- 34,27 %



Traitement :

- Nettoyage de l'objet avec un pinceau, sous un fin jet d'eau déminéralisée. La plus grande partie de microorganismes verts a été éliminée avec le nettoyage, mais une petite quantité a pénétrée dans l'objet, et elle n'a pas pu être éliminée.
- Immersion de l'objet dans un bain de Lactitol à 20 %, dans l'eau déminéralisée, pendant deux semaines.
- Rapide rinçage de l'objet avec de l'eau déminéralisée, pour enlever le surplus de Lactitol en surface.
- Léger séchage de la surface de la pièce avec du papier ménage et application d'une fine couche de cristaux de Lactitol monohydrate en surface, pour favoriser sa formation.
- Séchage du bois de cerf dans le four à 50°C pendant 5 heures.

Observations après traitement :

Après le traitement, le bois de cerf a subi un léger rétrécissement. On peut observer que le retrait est plus grand en largeur qu'en hauteur. Aucune déformation n'a été observée.

Aucune fissure n'est présente sur l'objet, mais sous microscope, on s'aperçoit que des zones de la surface sont pleines de mini-craquelures. Parfois des craquelures sont présentes aussi sur la partie spongieuse. L'objet est solide et il présente une couleur naturelle. Les microorganismes encore présents sur l'objet sont visibles sous microscope, sous forme de petites taches verdâtres.

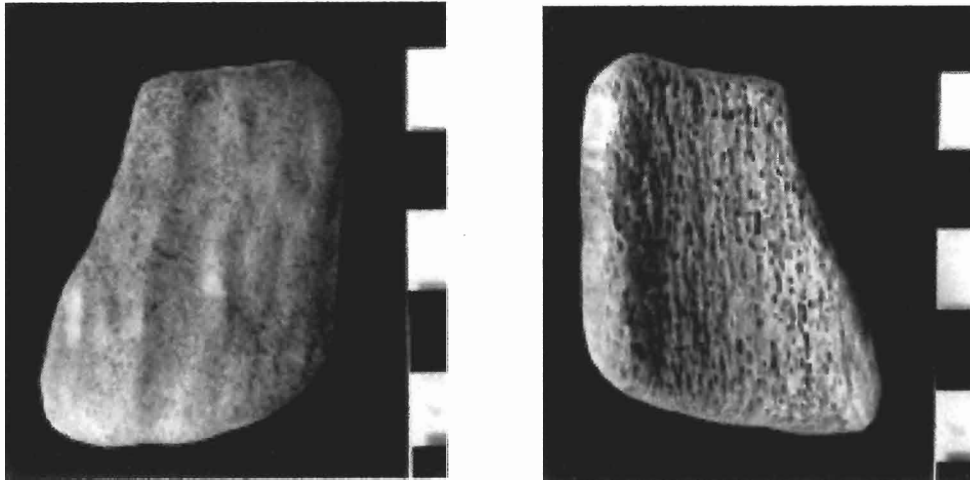


Fig.3 et 4 : Objet après traitement (échelle 1 :1)

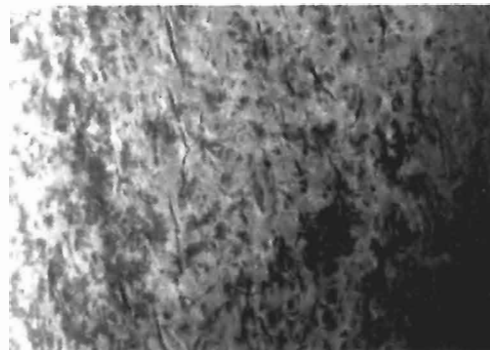


Fig.5 : Craquelures sur la surface de l'objet (échelle 1 :0,1)

Sutz-Lattrigen 82781

Description de l'objet gorgé d'eau :

Petit fragment de bois de cerf. Il s'agit peut-être d'un fragment de gaine de hache.

La pièce est de couleur brun assez foncé. La surface est peu grenue et a une apparence assez solide. La partie spongieuse du bois de cerf est presque absente.

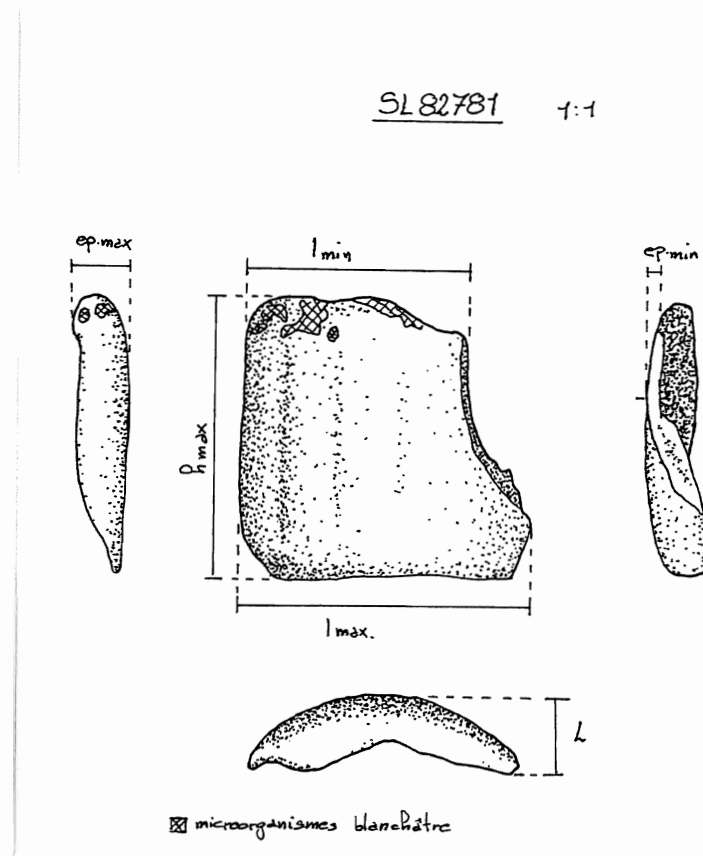
Une partie de la surface supérieure de l'objet est colonisée par des microorganismes de couleur blanchâtre (moisissure ?). Près de cette zone, on aperçoit aussi de fins voiles de microorganismes verts. En plus, des petites quantités de "poils" noirs sont présentes sur la partie spongieuse du bois de cerf. Aucune fissure n'est présente sur la pièce.



Fig.1 et 2 : Objet avant traitement (échelle 1 :0,7)

Dimensions et poids de l'objet :

	avant traitement	après traitement	différence	différence en %
h_{\max}	37,40 mm	37,35 mm	- 0,05 mm	- 0,13 %
l_{\max}	37,90 mm	37,60 mm	-0,30 mm	- 0,79 %
l_{\min}	31,45 mm	30,50 mm	- 0,95 mm	- 3,02 %
L	9,35 mm	9,30 mm	- 0,05 mm	- 0,53 %
ep_{\max}	7,85 mm	7,50 mm	- 0,35 mm	- 4,46 %
ep_{\min}	2,85 mm	2,75 mm	- 0,10 mm	- 3,51 %
retrait moyen				- 2,07 %
poids	9,47 g.	5,50 g.	- 3,97 g.	- 41,92 %



Traitement :

- Nettoyage de l'objet avec un pinceau, sous un fin jet d'eau déminéralisée.
- Immersion de l'objet dans un bain de Primal® WS 24 à 4 %, dans l'eau déminéralisée pendant un mois.
- Séchage lent et contrôlé de la pièce dans une chambre humide pendant six semaines.

Observations après traitement :

Après le traitement, l'objet a subi un important rétrécissement, en particulier en largeur et en épaisseur. Aucune déformation n'a eu lieu. Deux fissures se sont formées lors du séchage : une à la surface de l'objet, et l'autre entre la partie compacte et la partie spongieuse du bois de cerf. En plus, quelques minuscules fissures sont présentes à la base de la pièce. L'objet est solide et il présente une couleur naturelle.

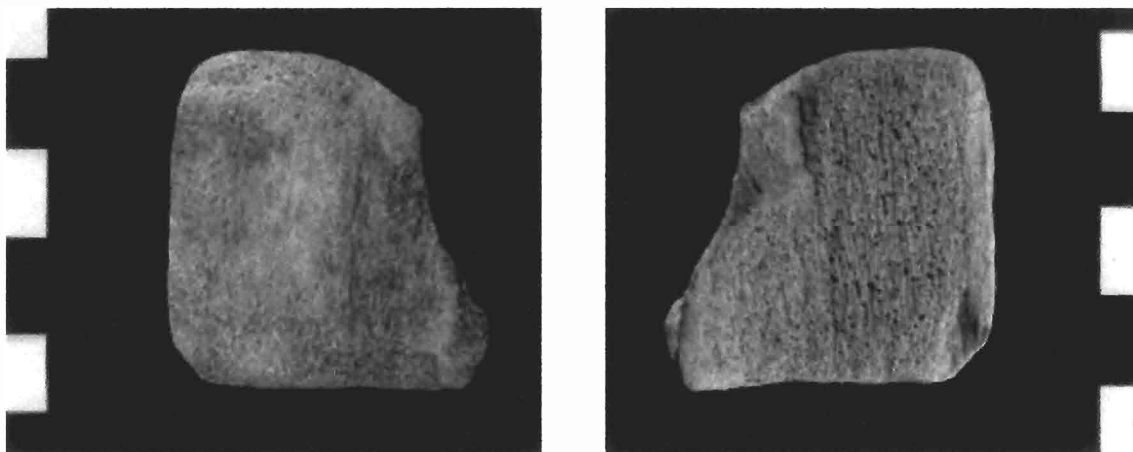


Fig.3 et 4 : Objet après traitement (échelle 1 :0,8)

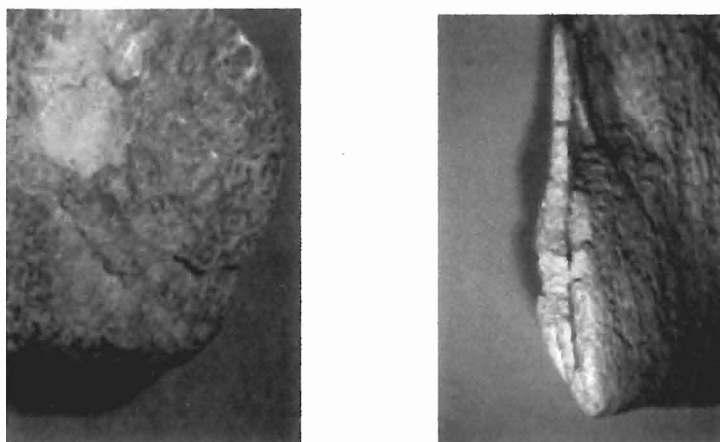


Fig.5 et 6 : Fissures présentes sur l'objet après séchage (échelle 1 :0,22 et 1 :0,6)

Sutz-Lattrigen 82782Description de l'objet gorgé d'eau :

Fragment de gaine de hache en bois de cerf

La pièce est de couleur brun assez foncé, avec parfois des petits taches oranges. La surface est très peu grenue et très usée, mais elle a une apparence solide. La partie spongieuse du bois de cerf est presque absente de la pièce.

On distingue très bien le tenon et la couronne de la gaine de hache. Des microorganismes verts, sous forme de fin voile, sont présents sur une grande partie de la surface de l'objet. En plus, de petites quantités de "poils" noirs sont présentes sur la surface du bois de cerf. Aucune fissure est présente sur la pièce.

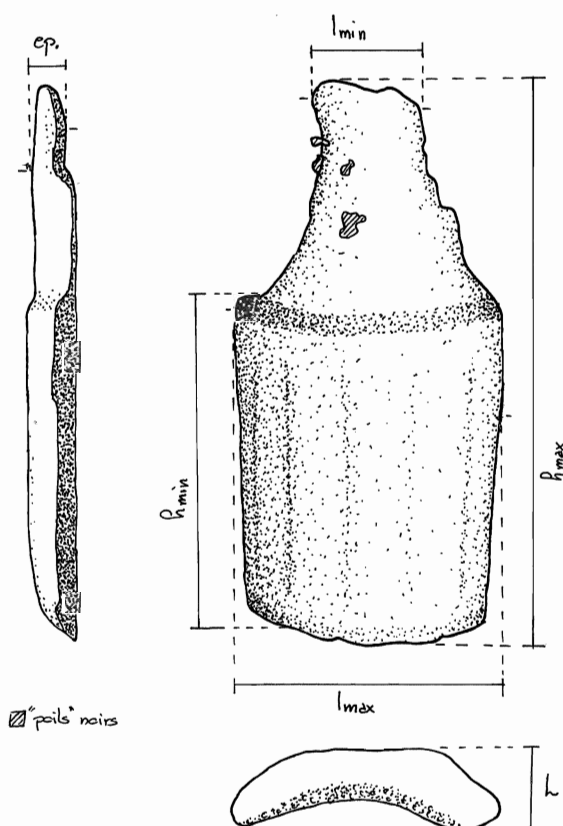


Fig.1 et 2 : Objet avant traitement (échelle 1 :1,25)

Dimensions et poids de l'objet :

	avant traitement	après traitement	différence	différence en %
h_{\max}	74,60 mm	74,20 mm	- 0,40 mm	- 0,54 %
h_{\min}	44,65 mm	44,35 mm	- 0,30 mm	- 0,67 %
l_{\max}	30,60 mm	30,20 mm	- 0,40 mm	- 1,31 %
l_{\min}	14,30 mm	13,90 mm	- 0,40 mm	- 2,80 %
L	9,85 mm	9,75 mm	- 0,10 mm	- 1,02 %
ep.	5,75 mm	5,75 mm	0 mm	0 %
retrait moyen				- 1,06 %
poids	15,25 g.	9,90 g.	- 5,35 g.	- 35,08 %

SL 82782 1:1



Traitement :

- Nettoyage de l'objet avec un pinceau, sous un fin jet d'eau déminéralisée. La plus grande partie de microorganismes verts a été éliminée avec le nettoyage, mais une petite quantité a pénétrée dans l'objet et elle n'a pas pu être éliminée.
- Immersion de l'objet dans un mélange de PEG 1000 (18 %), de PEG 400 (2 %) et d'eau déminéralisée, pendant deux semaines.
- Rapide rinçage de l'objet avec de l'eau déminéralisée, pour enlever le surplus de PEG en surface.
- Séchage lent et contrôlé de la pièce dans une chambre humide pendant six semaines.

Observations après traitement :

Après le traitement, l'objet a subi un certain rétrécissement. On peut observer que le retrait est plus grand en largeur qu'en hauteur. Aucune déformation ne s'est produite et aucune fissure ni craquelure n'est apparue sur le fragment.

Le bois de cerf est solide. L'aspect final de l'objet présente une couleur naturelle. Les détails de la surface sont bien visibles. La partie de microorganismes verts encore présente sur l'objet est toujours visible sous microscope, sous forme de petites taches verdâtres.

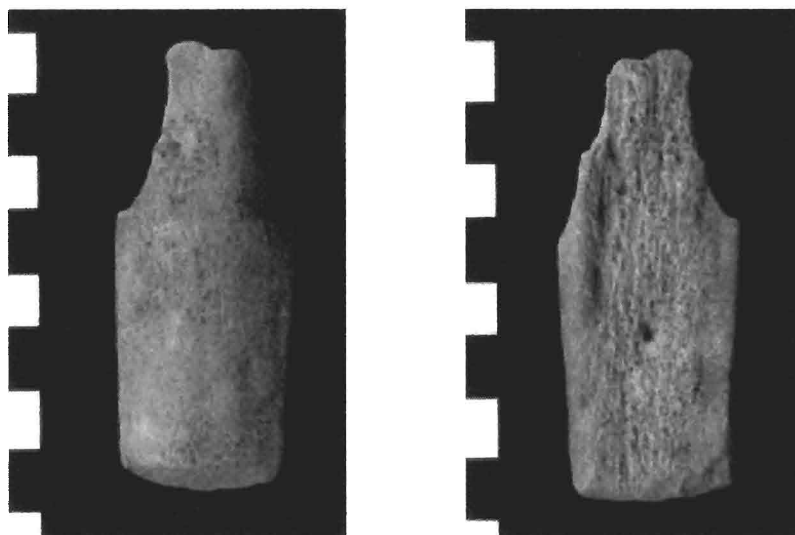


Fig.4 et 5 : Objet après traitement (échelle 1 :1,25)

Sutz-Lattrigen 82784

Description de l'objet gorgé d'eau :

Petit fragment de gaine de hache en bois de cerf.

La pièce est de couleur brun foncé et a une apparence solide. On distingue bien le tenon et la couronne de la gaine de hache. La surface est assez grenues et peu usée. La partie spongieuse est presque absente de l'objet et elle est recouverte par un fine voile de microorganismes verts. Aucune fissure n'est présente sur la pièce.

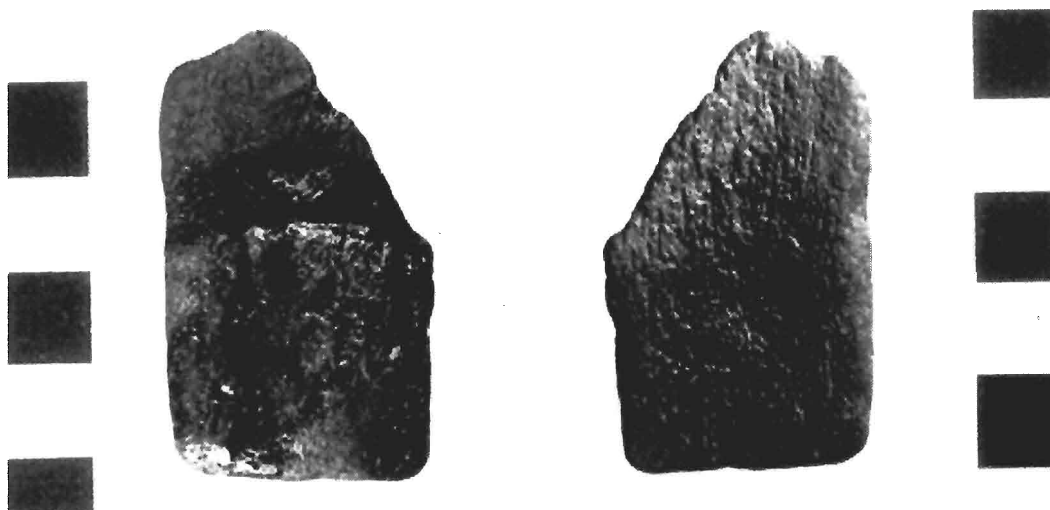
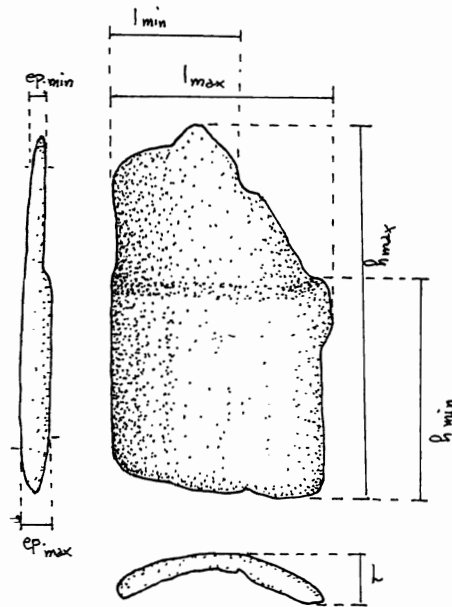


Fig.1 et 2 : Objet avant traitement (échelle 1 :0,8)

Dimensions et poids de l'objet :

	avant traitement	après traitement	différence	différence en %
h_{max}	48,80 mm	48,45 mm	- 0,35 mm	- 0,72 %
h_{min}	27,40 mm	27,30 mm	- 0,10 mm	- 0,35 %
l_{max}	28,55 mm	28,40 mm	- 0,15 mm	- 0,52 %
l_{min}	17,30 mm	17,20 mm	- 0,10 mm	- 0,58 %
L	5,85 mm	5,85 mm	0 mm	0 %
ep_{max}	4,30 mm	4,25 mm	- 0,05 mm	- 1,16 %
ep_{min}	2,85 mm	2,85 mm	0 mm	0 %
retrait moyen				0,47 %
poids	6,04 g.	3,90 g.	2,14 g.	34,43 %

SL 82784 1:1



Traitement :

- Nettoyage de l'objet avec un pinceau, sous un fin jet d'eau déminéralisée. La plus grande partie de microorganismes a été éliminée avec le nettoyage, mais une petite quantité a pénétrée dans l'objet, et elle n'a pas pu être éliminée.
- Séchage lent et contrôlé de l'objet dans une chambre humide pendant six semaines.

Observations après traitement :

Après le traitement, l'objet a subi un certain rétrécissement. Aucune déformation ne s'est produite et aucune fissure n'est apparue sur le fragment. Quelques petites craquelures sont, par contre, présentes sur la base de l'objet. Le bois de cerf est solide et l'aspect final de l'objet présente une couleur naturelle.

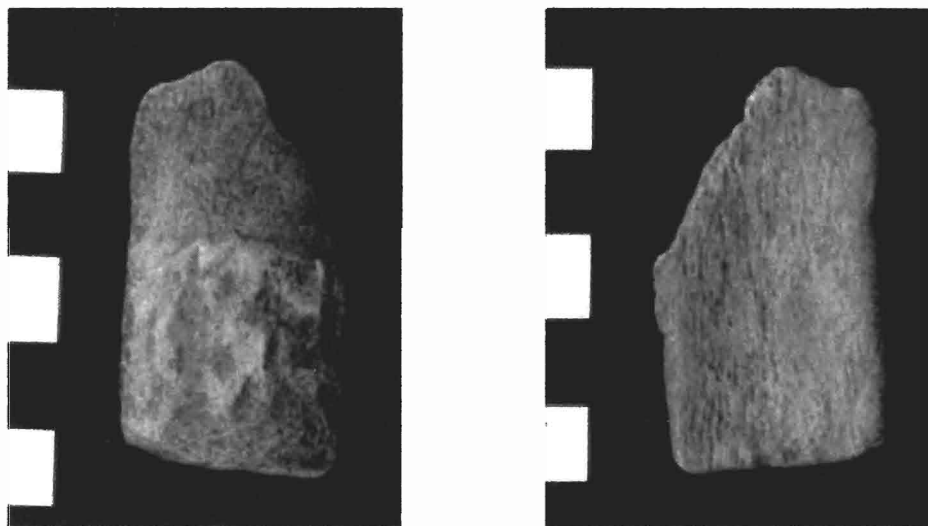


Fig.4 et 5 : Objet après traitement (échelle 1 :0,9)

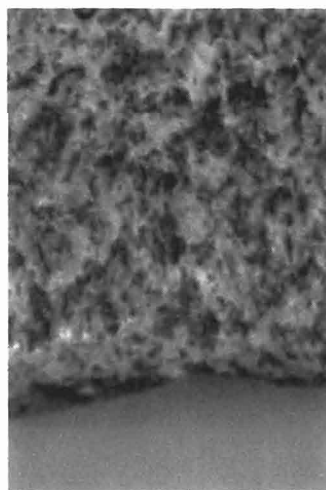


Fig.6 : Craquelures présentes sur la base de l'objet après traitement (échelle 1 :0,2)

Sutz-Lattrigen 82785Description de l'objet gorgé d'eau :

Petit fragment de gaine de hache en bois de cerf.

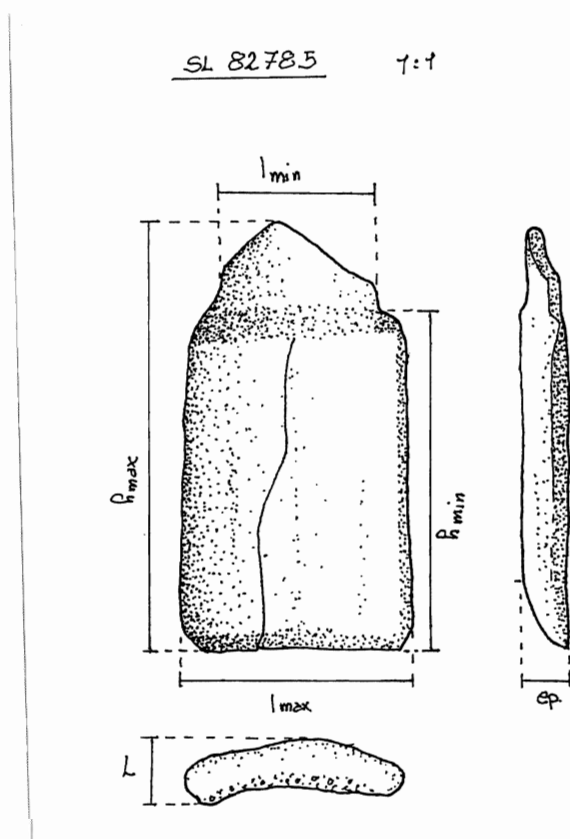
On distingue bien le tenon et la couronne de la gaine de hache. Le tenon représente environ un quart de la surface de l'objet. La pièce est de couleur brun assez clair, avec des parties plus rougeâtres. La surface est assez lisse et peu usée. La partie spongieuse est presque absente de l'objet et elle est recouverte par un fin voile de microorganismes verts. Une fissure longitudinale peu profonde traverse presque complètement la longueur de l'objet. La pièce offre une apparence solide.



Fig.1 et 2 : Objet avant traitement (échelle 1 :0,9)

Dimensions et poids de l'objet :

	avant traitement	après traitement	différence	différence en %
h_{\max}	56,50 mm	56,50 mm	0 mm	0 %
h_{\min}	46,90 mm	46,85 mm	- 0,05 mm	- 0,11 %
l_{\max}	29,25 mm	28,40 mm	- 0,85 mm	- 2,90 %
l_{\min}	21,25 mm	20,80 mm	- 0,45 mm	- 2,09 %
ep.	6,00 mm	6,00 mm	0 mm	0 %
L.	8,30 mm	8,30 mm	0 mm	0 %
retrait moyen				- 0,85 %
poids	11,33 g.	7,63 g.	- 3,70 g.	- 32,66 %

Traitement :

- Nettoyage de l'objet avec un pinceau, sous un fin jet d'eau déminéralisée. La plus grande partie de microorganismes verts a été éliminée avec le nettoyage, mais une petite quantité a pénétrée dans l'objet, et elle n'a pas pu être éliminée.

- Immersion de l'objet dans un bain de Lactitol à une concentration de 20 %, dans l'eau déminéralisé pendant un mois.
- Rapide rinçage de l'objet avec de l'eau déminéralisée pour enlever le surplus de Lactitol.
- Léger séchage de la surface de la pièce avec du papier ménage et application d'une fine couche de cristaux de Lactitol monohydrate en surface, pour favoriser sa formation.
- Séchage du bois de cerf dans le four à 50°C pendant 5 heures.

Observations après traitement :

Après le traitement, le bois de cerf a subi un rétrécissement important en largeur et faible en hauteur. Aucune déformation n'a été observée. La fissure présente sur l'objet ne s'est pas agrandie. Aucune nouvelle fissure ou craquelures ne s'est formée. L'objet est solide et il présente une couleur naturelle. Les détails de la surface sont bien visibles.

La partie de microorganismes verts encore présente sur l'objet est visible sous microscope, sous forme de petites taches verdâtres.



Fig.3 et 4 : Objet après traitement (échelle 1 :0,9)

Sutz-Lattrigen 82786Description de l'objet gorgé d'eau :

Fragment de gain de hache en bois de cerf.

La pièce est de couleur brun foncée-rougeâtre, avec des taches plus jaunâtres sur la partie spongieuse. La surface est usée, mais on aperçoit encore son aspect grenu. La partie spongieuse du bois de cerf est presque absente. Le fragment offre une apparence solide. Aucune fissure n'est présente sur la pièce.

La partie spongieuse est recouverte par un fin voile de microorganismes verts, et parfois de petites quantités d'une sorte de "poils" noirs peuvent être observés.

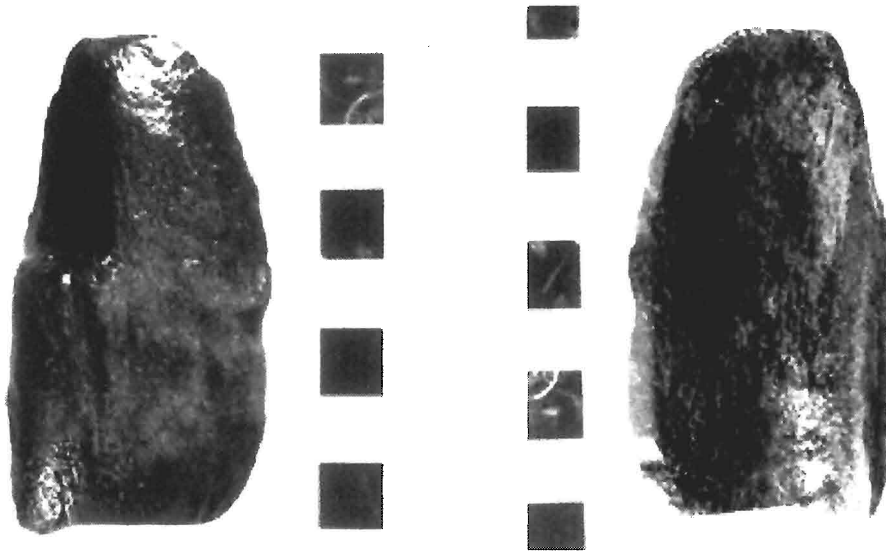
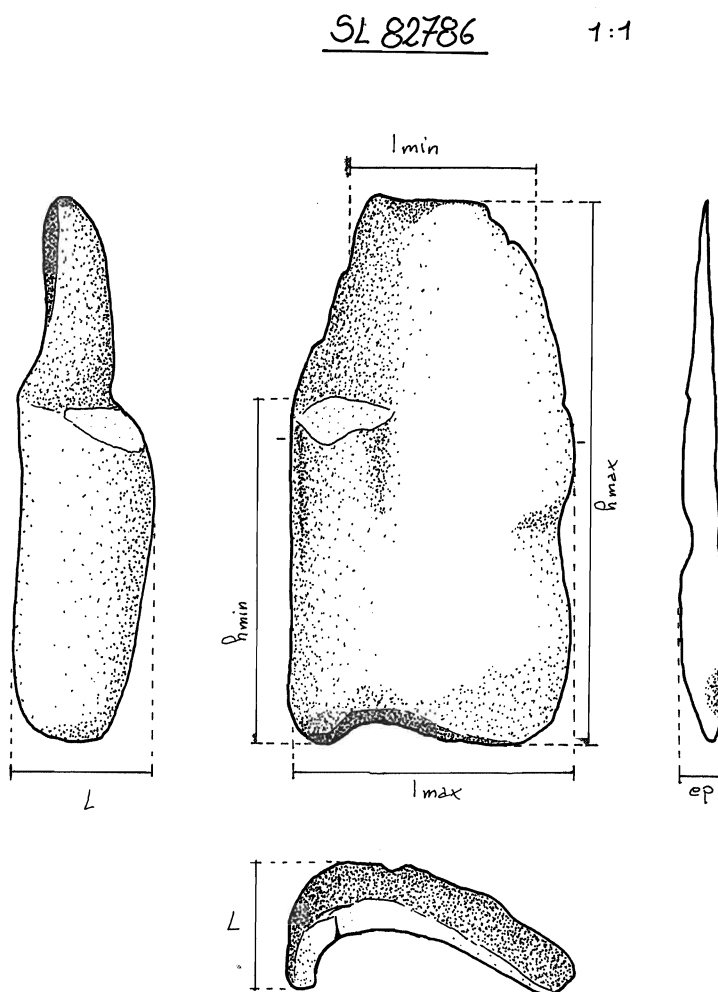


Fig.1 et 2 : Objet avant traitement (échelle 1 :1,1)

Dimensions et poids de l'objet :

	avant traitement	après traitement	différence	
h_{\max}	71,75 mm	71,75 mm	0 mm	0 %
h_{\min}	40,55 mm	40,50 mm	- 0,05 mm	- 0,12 %
l_{\max}	37,10 mm	37,10 mm	0 mm	0 %
l_{\min}	24,25 mm	24,25 mm	0 mm	0 %
ep.	7,50 mm	7,50 mm	0 mm	0 %
L.	17,40 mm	17,35 mm	- 0,05 mm	- 0,28 %
retrait moyen				- 0,07 %
poids	30,25 g.	23,11 g.	- 7,14 g.	- 23,60 %



Traitement :

- Nettoyage de l'objet avec un pinceau, sous un fin jet d'eau déminéralisée. La plus grande partie de microorganismes verts a été éliminée avec le nettoyage, mais une petite quantité a pénétrée dans l'objet, et elle n'a pas pu être éliminée.
- Immersion de l'objet dans un mélange de PEG 1000 (18 %) et de PEG 400 (2 %) pendant deux mois.
- Rapide rinçage de la pièce avec de l'eau déminéralisée, pour enlever le surplus de PEG à la surface de l'objet.
- Séchage lent et contrôlé de l'objet dans une chambre humide pendant six semaines.

Observations après traitement :

Après le traitement, le bois de cerf n'a presque pas subi de rétrécissement, mais une longue et fine fissure est apparue à la surface de l'objet lors du séchage. Aucune déformation n'a été observée sur l'objet. Le bois de cerf est solide, à l'exception des endroits proches de la fissure. L'aspect final de l'objet présente une couleur naturelle et les détails de la surface sont bien visibles.

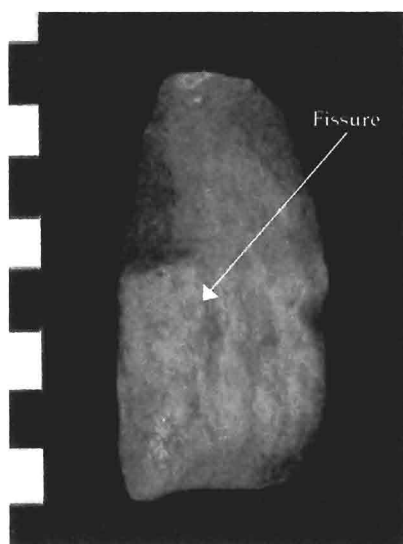


Fig.3 et 4 : Objet après traitement (échelle 1 :1,1)



Fig.5 : Détail de la fissure sur présente sur l'objet après séchage (échelle 1 :0,6)

Sutz-Lattrigen 82787Description de l'objet gorgé d'eau :

Fragment de gaine de hache en bois de cerf.

La pièce est de couleur brun assez foncé, avec des parties plus rougeâtres. On distingue bien le tenon et la couronne de la gaine de hache. Quatre incisions assez profondes sont présentes sur la couronne.

La surface est usée et peu grenue, et l'objet a une apparence solide. La partie spongieuse du bois de cerf est présente en grande quantité sur un tiers de l'objet, par contre, elle est presque absente sur le reste de la pièce.

Aucune algue ou micro-organisme n'ont été observés sur le fragment. Aucune fissure n'est présente.

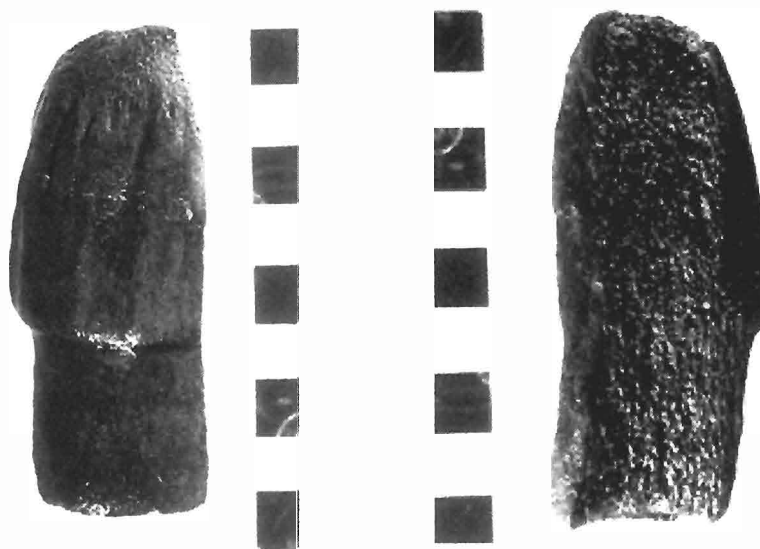
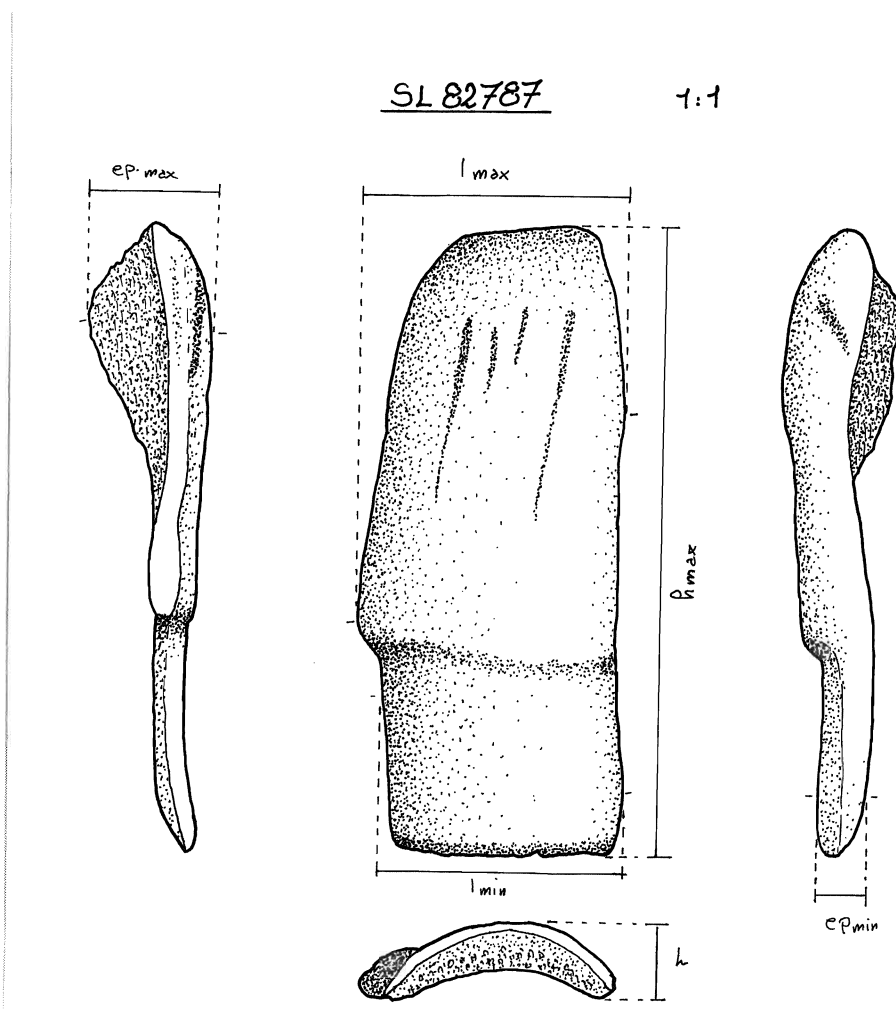


Fig.1 et 2 : Objet avant traitement (échelle 1 :1,25)

Dimensions et poids de l'objet :

	avant traitement	après traitement	différence	différence en %
h_{\max}	83,25 mm	83,20 mm	- 0,05 mm	- 0,06 %
l_{\max}	34,30 mm	34,30 mm	0 mm	0 %
l_{\min}	30,50 mm	30,25 mm	- 0,25 mm	- 0,81 %
L	10,30 mm	10,30 mm	0 mm	0 %
ep_{\max}	15,15 mm	15,05 mm	- 0,10 mm	- 0,66 %
ep_{\min}	6,90 mm	6,85 mm	- 0,05 mm	- 0,72 %
retrait moyen				- 0,37 %
poids	34,80 g.	25,81 g.	- 8,99 g.	- 25,83 %



Traitement :

- Nettoyage de l'objet avec un pinceau et sous un fin jet d'eau déminéralisée.
- Immersion de l'objet dans un mélange de PEG 1000 (18 %), de PEG 400 (2 %) et d'eau déminéralisée pendant un mois.
- Rapide rinçage de la pièce avec de l'eau déminéralisée, pour enlever le surplus de PEG à la surface de l'objet.
- Séchage lent et contrôlé de l'objet dans une chambre humide pendant six semaines.

Observations après traitement :

Après traitement, le bois de cerf n'a presque pas subi de rétrécissement. Pendant le séchage, une très petite fissure est apparue sur la couronne de l'objet, et quelques petites craquelures se sont formées à l'intérieur des incisions. Aucune déformation n'a été observée et l'objet est solide. L'aspect final de l'objet présente une couleur naturelle et les détails de la surface sont bien visibles.

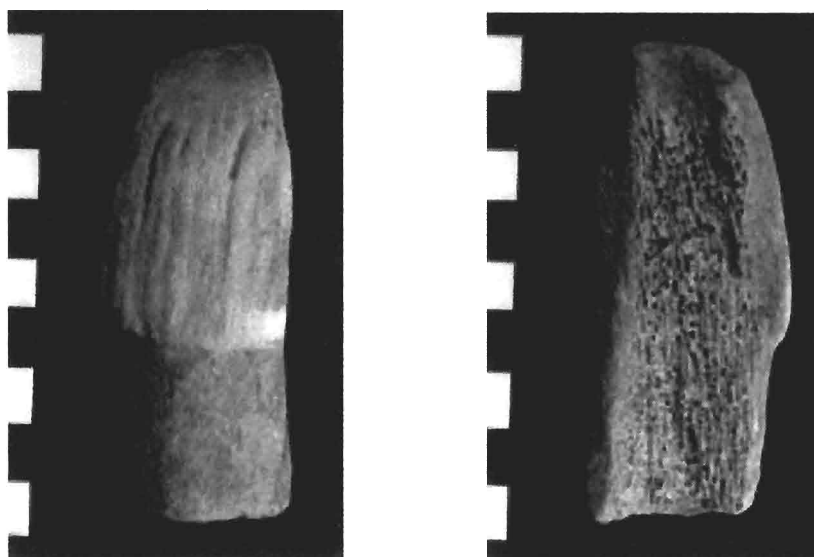


Fig.3 et 4 : Objet après traitement (échelle 1 :1,25)

Sutz-Lattrigen 82788

Description de l'objet gorgé d'eau :

Deux objet en bois de cerf non jointif. La première pièce est composée d'un grand fragment, qui représente la moitié d'une gaine de hache à couronne en ergot, fabriquée à partir de la base du merrain de bois de cerf. La deuxième pièce est un petit fragment de bois de cerf indéterminé.

Le grand fragment est de couleur brune claire. Sa surface est très usée et abîmée. Plusieurs fragments de la surface sont absents. On distingue très bien le tenon et la couronne de la gaine de hache. Cinq incisions triangulaires sont présentes sur les bords de la couronne ; deux en haut à gauche et trois en haut à droite. Sur la surface du tenon plusieurs fines rainures en forme de V sont présentes. Ces rainures ont, peut-être, été provoquées par l'érosion de l'eau.

Une grande partie de la surface de la pièce est recouverte d'algues vertes (*Cladophora* sp.). La partie spongieuse du bois de cerf est encore présente, mais une grande partie a été enlevée de manière à permettre l'insertion de la lame en pierre. L'ensemble du fragment de gaine de hache a une apparence assez solide, mais sa surface est assez fragile. Une fissure est présente sur l'objet.

Le petit fragment est de couleur brun foncé, avec des parties plus rougeâtres. Sa surface est peu usée offre une apparence solide. La partie spongieuse du bois de cerf est presque absente de la pièce. Aucune algue et aucun micro-organisme n'ont été observés sur ce fragment. Aucune fissure n'est présente.

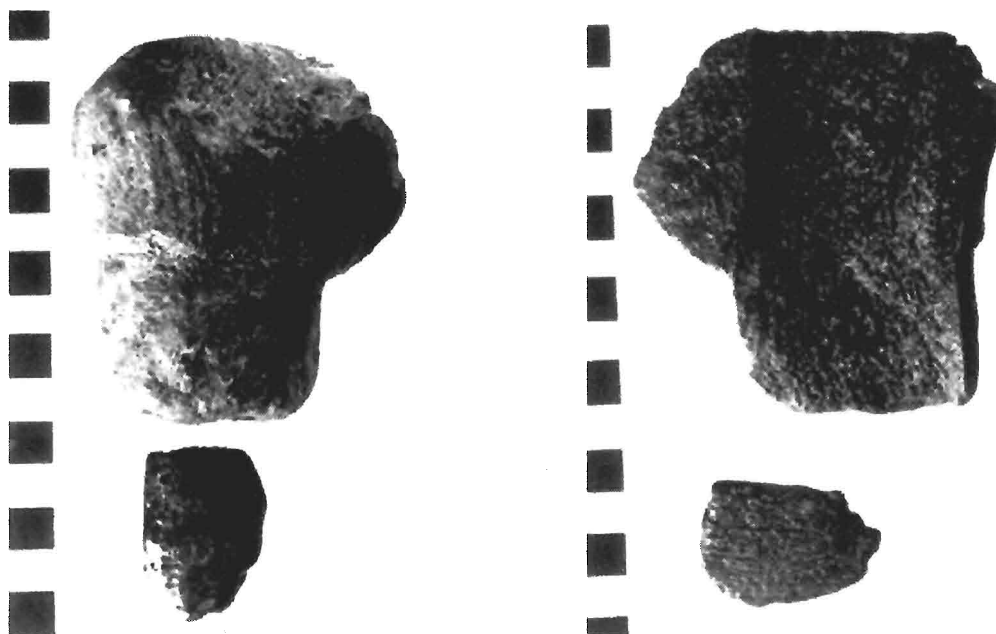


Fig.1 et 2 : Objets avant traitement (échelle 1 :1,6)

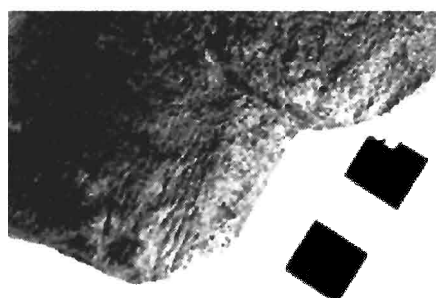
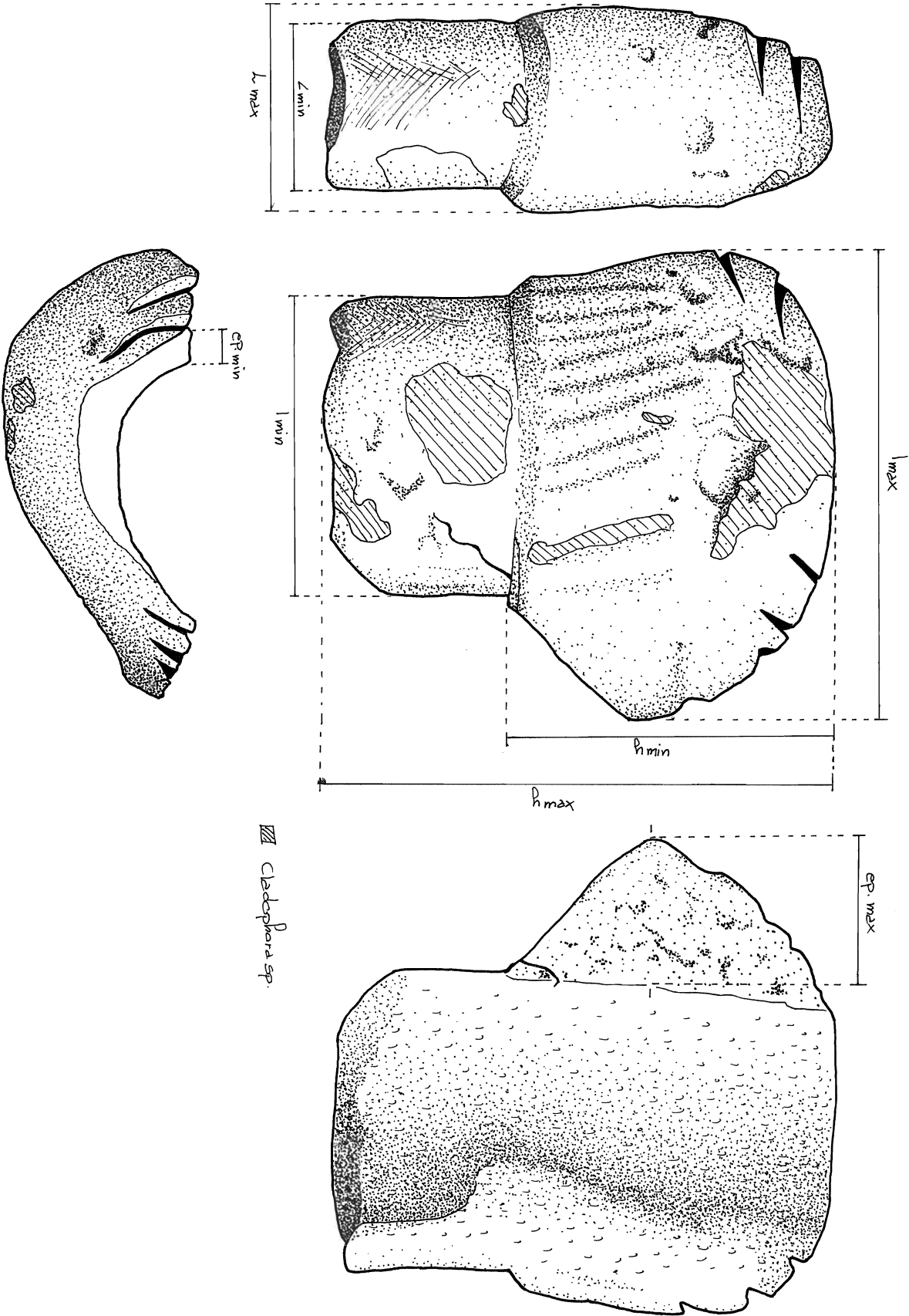


Fig.3 :Détail des rainures présent sur la gaine de hache (échelle 1 :1,25)

Dimensions et poids du fragment de gaine de hache :

	avant traitement	après traitement	différence	différence en %
h_{max}	86,40 mm	85,50 mm	- 0,90 mm	- 1,04 %
h_{min}	53,85 mm	53,75 mm	- 0,10 mm	- 0,18 %
l_{max}	79,85 mm	79,30 mm	- 0,55 mm	- 0,69 %
l_{min}	50,90 mm	50,70 mm	- 0,20 mm	- 0,39 %
L_{max}	33,35 mm	33,20 mm	- 0,15 mm	- 0,45 %
L_{min}	29,45 mm	29,30 mm	- 0,15 mm	- 0,51 %
ep_{max}	26,20 mm	26,10 mm	0,10 mm	- 0,38 %
ep_{min}	5,50 mm	5,50 mm	0 mm	0 %
retrait moyen				- 0,45 %
poids	135,87 g	101,55 g.	- 34,82 g.	- 25,26 %

5L 82788 (grand) 1:1

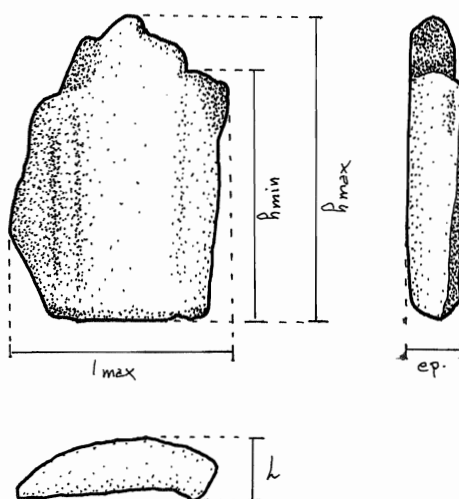


Cladophora sp.

Dimensions et poids du petit fragment :

	avant traitement	après traitement	différence	différence en %
h_{\max}	41,05 mm	41,05 mm	0 mm	0 %
h_{\min}	30,85 mm	30,75 mm	- 0,10 mm	- 0,32 %
l_{\max}	28,80 mm	28,70 mm	- 0,10 mm	- 0,35 %
L	8,40 mm	8,35 mm	- 0,05 mm	- 0,60 %
ep.	6,90 mm	6,90 mm	0 mm	0 %
moyenne				- 0,25 %
poids	9,88 g	7,76 g	- 2,12 g	-21,46 %

SL 82788 (petit) 1:1

Traitement du grand fragment :

- Nettoyage de l'objet sous un fin jet d'eau déminéralisée. La plus grande partie d'algues a été éliminée avec un pinceau, une petite pince et une spatule en bois.
- Immersion de l'objet dans un mélange de PEG 1000 (18 %), de PEG 400 (2 %) et d'eau déminéralisée pendant deux semaines.

- Rapide rinçage de la pièce à l'eau déminéralisé, pour enlever le surplus de PEG en surface.
- Séchage lent et contrôlé de l'objet pendant six semaines dans une chambre humide.

Traitement du petit fragment :

- Nettoyage de l'objet avec un pinceau, sous un fin jet d'eau déminéralisée.
- Immersion de l'objet dans un bain de Primal® WS 24 à 4 % pendant deux semaines.
- Séchage lent et contrôlé de l'objet pendant six semaines dans une chambre humide.

Observations après traitement

Fragment de gaine de hache

L'objet n'a pas subi un très grand rétrécissement après le traitement. La fissure, qui était déjà présente sur la pièce, s'est légèrement agrandie lors du séchage, et une nouvelle très petite fissure s'est formée. La couleur de l'objet est naturelle et le fragment est solide.

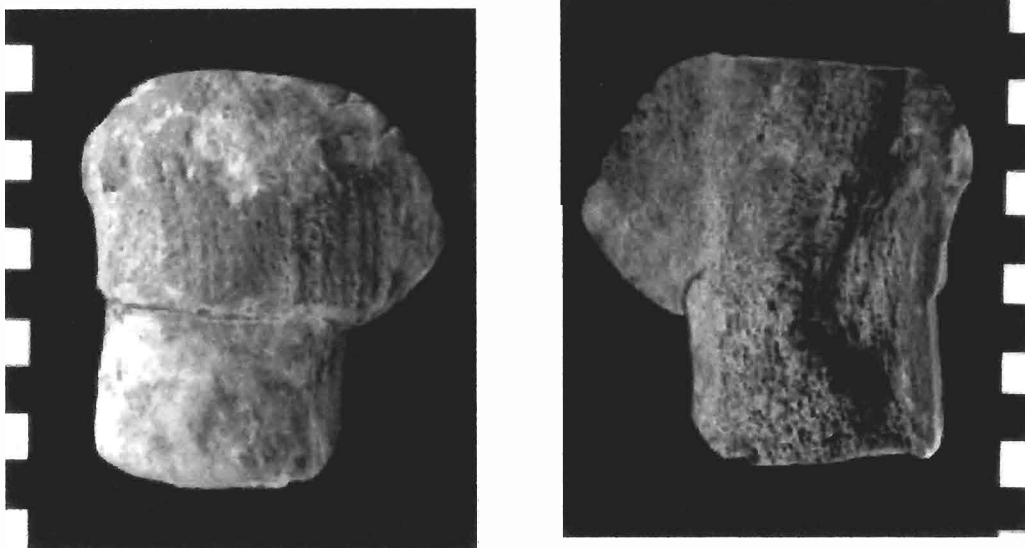


Fig.4 et 5 : Fragment de gaine de hache après traitement (échelle 1 :1,6)

Petit fragment :

Après traitement, le fragment a subi un rétrécissement très faible, et aucune fissure n'est apparue sur l'objet. Quelques petites craquelures se sont formées à la base de l'objet. La couleur du bois de cerf est naturelle et le fragment est solide.



Fig.6 et 7 : Petit fragment après traitement (échelle 1 :0,8)

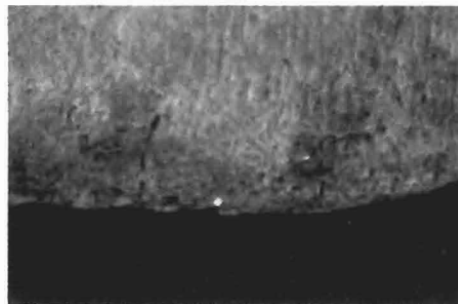


Fig.8 : Détail des craquelures sur la base du petit fragment après séchage (échelle 1 :0,4)

Sutz-Lattrigen 82790**Description de l'objet gorgé d'eau :**

Gaine de hache en ailette en bois de cerf. L'objet a été fabriqué à partir du milieu du merrain du bois de cerf et il comprend une partie de la chevillure.

L'objet est de couleur brun clair avec des petites parties plus rougeâtres. Il possède une circonférence complète, et il offre une apparence solide. La surface de la pièce est assez grenue est peu usée.

Une extrémité du merrain a été vidée de sa partie spongieuse pour insérer la lame en pierre. Le reste du tissu spongieux est encore présent, à l'exception de deux fins trous irréguliers qui traversent tous le centre du bois de cerf. L'intérieur des cavités de la partie spongieuse est obturé par du sable.

La pièce est contaminée par des algues vertes (*Cladophoras* sp.), et parfois en surface, on peut observer une sorte de "poils" noirs. Deux grandes fissures sont présentes sur l'objet.



Fig.1 et 2 : Objet avant traitement (échelle 1 :1,4)

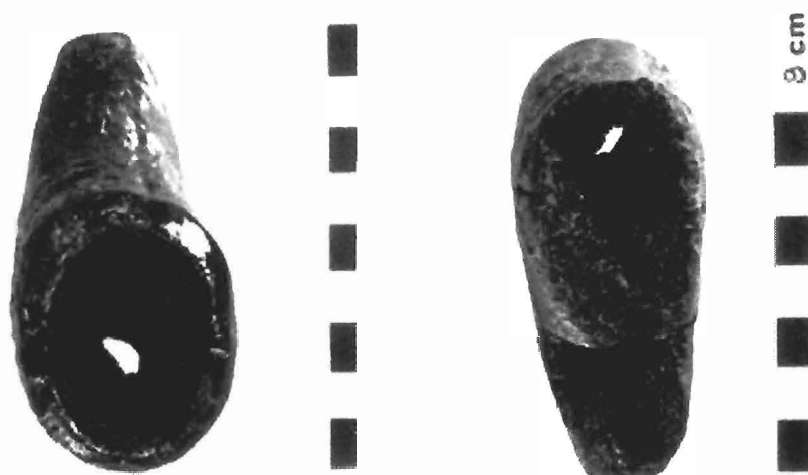
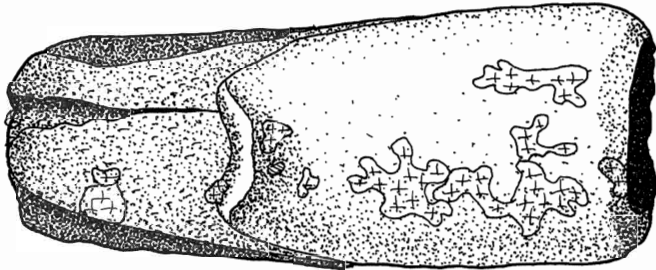
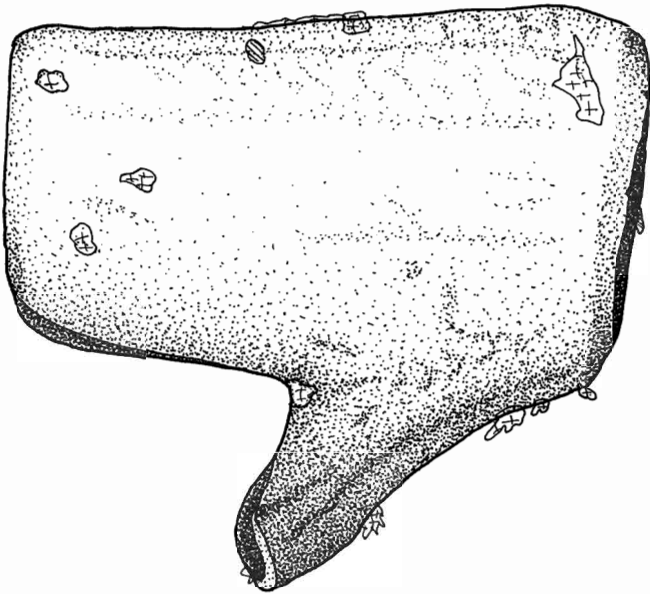
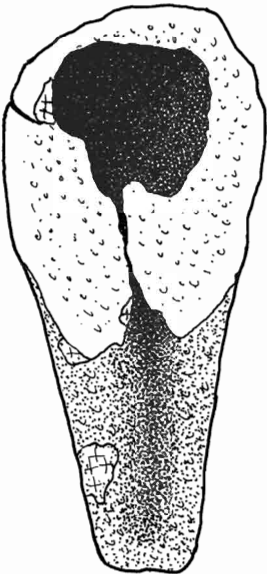


Fig.3 et 4 : Objet avant traitement (échelle 1 :1,7)

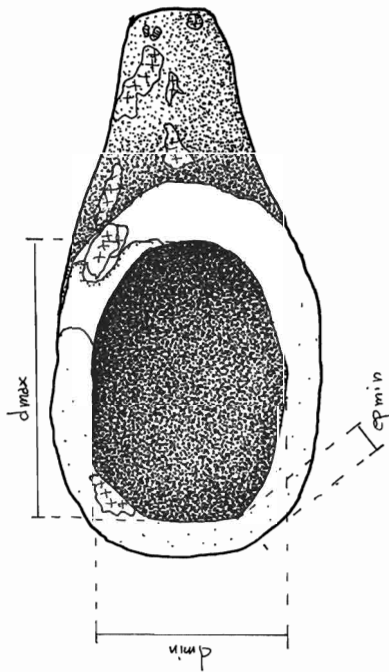
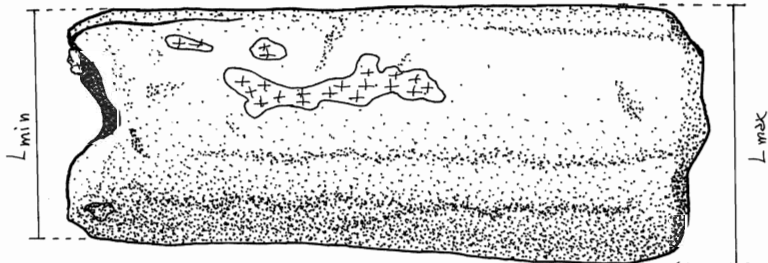
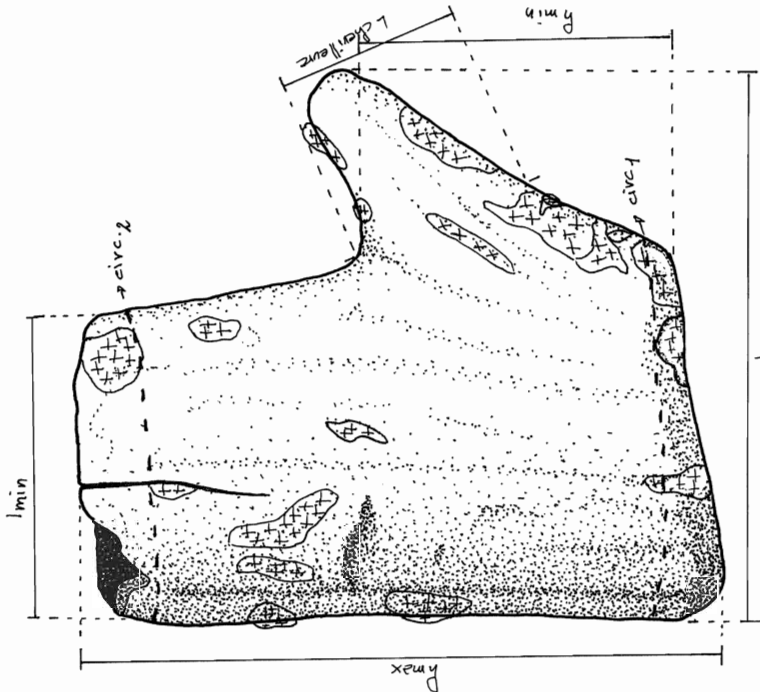
Dimensions et poids de l'objet :

	avant traitement	après traitement	différence	différence en %
h_{\max}	85,25 mm	85,20 mm	- 0,05 mm	- 0,06 %
h_{\min}	49,55 mm	49,40 mm	- 0,15 mm	- 0,30 %
l_{\max}	71,80 mm	71,40 mm	- 0,40 mm	- 0,56 %
l_{\min}	40,75 mm	40,60 mm	- 0,15 mm	- 0,37 %
L_{\max}	34,30 mm	33,10 mm	- 1,20 mm	- 3,50 %
L_{\min}	28,10 mm	28,10 mm	0 mm	0 %
$L_{\text{chevillure}}$	27,25 mm	27,25 mm	0 mm	0 %
ep_{\min}	5,10 mm	5,10 mm	0 mm	0 %
circ._1	127,25 mm	124,60 mm	- 2,65 mm	- 2,08 %
circ._2	117,45 mm	115,60 mm	- 1,85 mm	- 1,57 %
d_{\max}	32,50 mm	32,30 mm	- 0,20 mm	- 0,61 %
d_{\min}	22,55 mm	22,10 mm	- 0,45 mm	- 1,99 %
retrait moyen				- 0,92 %
poids	114,88 g.	75,69 g.	- 39,19 g.	- 34,12 %

SL 82790 1:1



▨ "pail" noirs
▨ clacophone sp.



Traitement :

- Nettoyage de l'objet sous un fin jet d'eau déminéralisée. La plus grande partie d'algues a été enlevée avec un pinceau, une petite pince et une spatule en bois.
- Immersion de l'objet dans un bain de Lactitol à 30 %, dans l'eau déminéralisée pendant deux semaines, sous vide partiel (500 mbar).
- Rapide rinçage de l'objet avec de l'eau déminéralisée, pour enlever le surplus de Lactitol.
- Léger séchage de la surface de la pièce avec du papier ménage et application d'une fine couche de cristaux de Lactitol monohydrate en surface, pour favoriser sa formation.
- Séchage du bois de cerf dans le four à 50°C pendant 21 heures.

Observations après traitement :

Après le séchage au four, aucune fissure et aucune craquelure n'étaient présentes sur la pièce, et les fissures déjà existantes ne s'étaient pas agrandies. Environ un mois après la fin du séchage, une de ces deux fissures s'est allongée et quatre soulèvements de surface se sont produits. Très probablement, le séchage était insuffisant et de l'eau était encore présente à l'intérieur de l'objet. Le Lactitol trihydrate s'est cristallisé, en augmentant, de volume et il a provoqué ces nouvelles dégradations sur le bois de cerf. L'objet a été remis au four, à une température de 50°C pendant deux heures, de manière à fondre le Lactitol trihydrate et à le recristalliser en monohydrate.

Après traitement, l'objet a subi un certain rétrécissement, mais la gaine de hache ne s'est pas déformée. L'objet est solide, mais la surface soulevée est assez fragile. L'aspect final de l'objet présente une couleur brune claire avec des zones plus foncées.

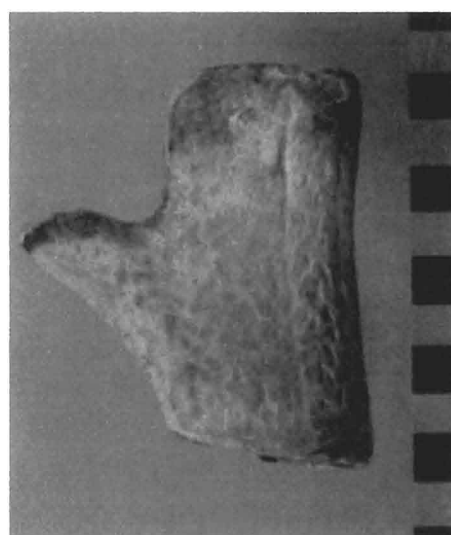


Fig.5 et 6 : Objet après le séchage au four (échelle 1 :1,7)

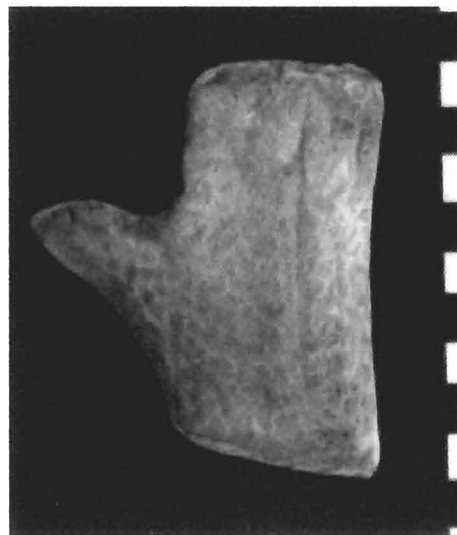


Fig.7 et 8 : Objet un mois après la fin du séchage (échelle 1 :1,7)

Fig.8 : Détail d'un soulèvement de surface (échelle 1 :0,7)



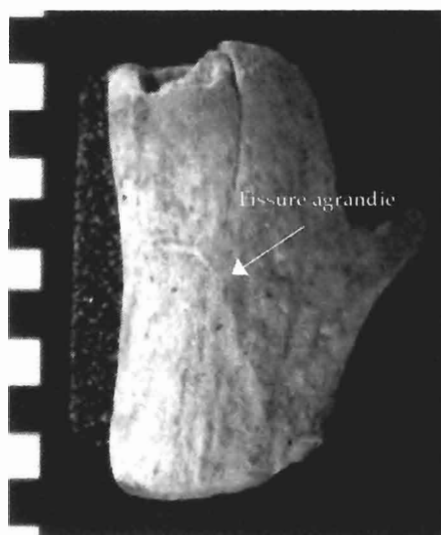


Fig.10 : Objet un mois après le séchage au four, une fissure présente sur le bois de cerf s'est agrandi (échelle 1 :1,7)

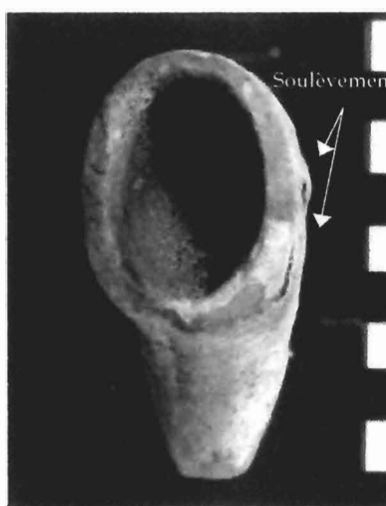


Fig.11 et 12 : Objet un mois après la fin du séchage (échelle 1 :1,7)

Marin les Piécettes 14495

Description de l'objet gorgé d'eau :

Petit fragment d'andouiller de bois de cerf. Il s'agit probablement d'un déchet de fabrication. L'objet est de couleur brun rougeâtre et possède une circonférence complète. Le sommet de la pointe est absent et la base de l'objet présente une coupure irrégulière.

La surface de l'andouiller est peu grenue et assez usée. L'objet est recouvert de plusieurs petites fissures longitudinales. La partie spongieuse est encore présente ; elle est très dense et compacte. Une partie de l'objet est recouverte de terre et aucune algue et micro-organisme n'ont été observés.



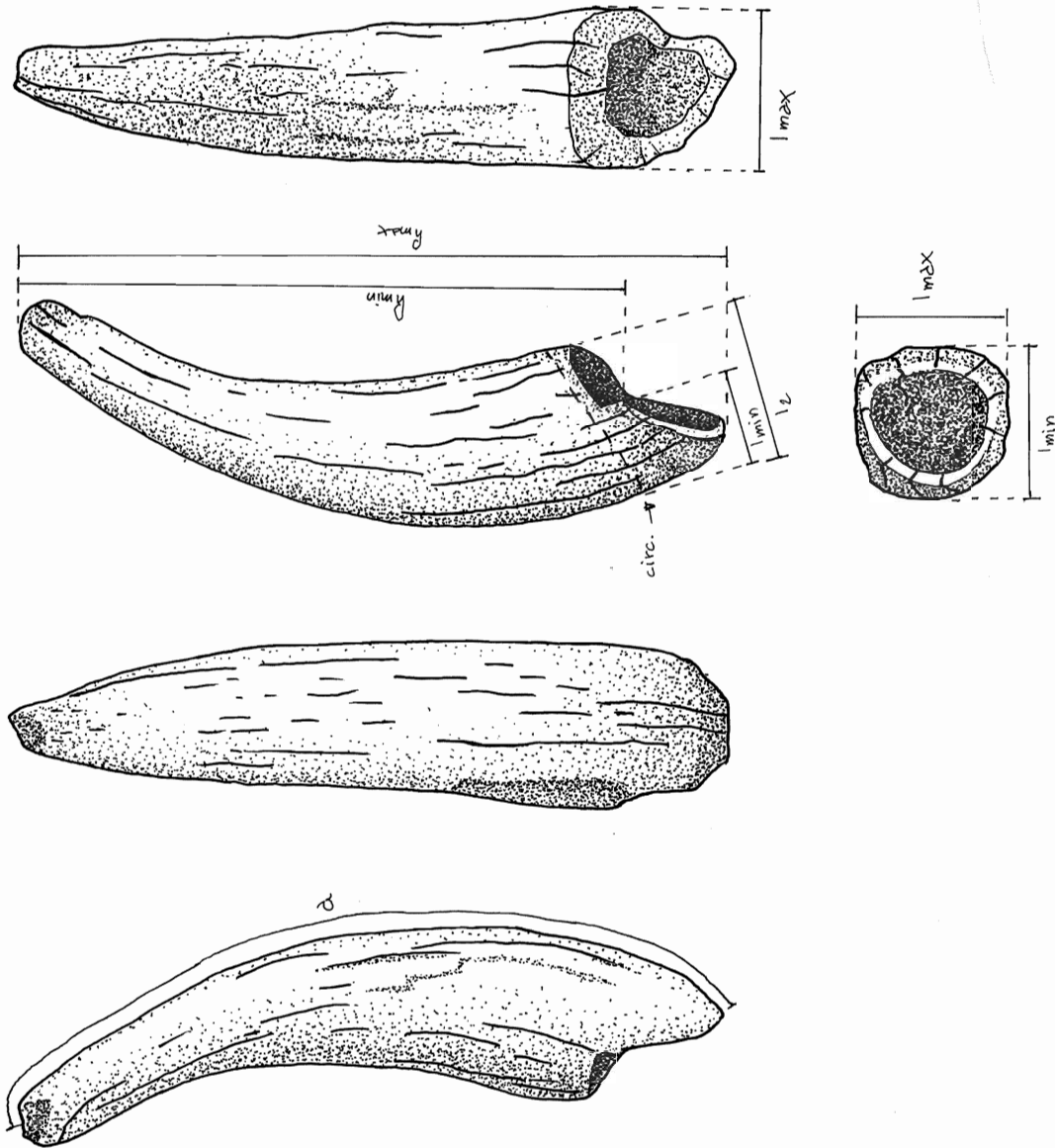
Fig.1 et 2 : Andouiller avant traitement (échelle 1 :1,4)

Dimensions et poids de l'andouiller :

	avant traitement	après traitement	différence	différence en %
h_{\max}	94,80 mm	93,95 mm	- 0,85 mm	- 0,90 %
h_{\min}	79,30 mm	78,80 mm	- 0,50 mm	- 0,63 %
l_{\max}	21,55 mm	21,40 mm	- 0,15 mm	- 0,70 %
l_2	20,35 mm	20,20 mm	- 0,15 mm	- 0,74 %
l_{\min}	11,00 mm	10,90 mm	- 0,10 mm	- 0,91 %
a	108,65 mm	105,95 mm	- 2,70 mm	- 2,48 %
circ.	67,35 mm	65,35 mm	- 2,00 mm	- 2,97 %
retrait moyen				-1,33 %
poids	29,24 g	20,55 g.	- 8,69 g.	- 29,72 %

1:1

MP 14795



Traitement :

- Nettoyage de l'objet avec un pinceau, sous un fin jet d'eau déminéralisée.
- Immersion de l'objet dans un bain de Primal® WS 24 à 4 %, dans l'eau déminéralisée, pendant deux semaines.
- Séchage lent et contrôlé en chambre humide pendant six semaines.

Observations après traitement :

Après traitement, les fissures présentes sur l'andouiller se sont allongées et une fissure s'est agrandie jusqu'à une ouverture d'environ 1 mm. Le bois de cerf a subi un rétrécissement, assez important, mais il ne s'est pas déformé. L'objet est solide et présente une couleur naturelle.

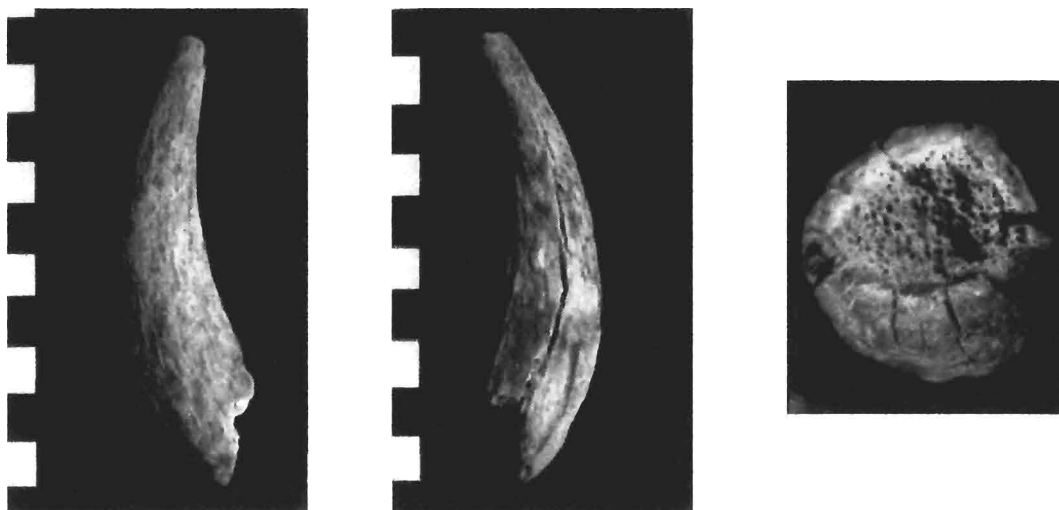


Fig.3, 4 et 5 : Andouiller après traitement (échelle 1 :1,4 et 1 :0,8)

Marin les Piécettes 14714

Description de l'objet gorgé d'eau :

Andouiller de bois de cerf avec une légère forme en S. Il s'agit probablement d'un déchet de fabrication. L'objet est de couleur brun rougeâtre et possède une circonférence complète. La base de l'objet possède une coupure régulière.

La surface de l'objet est très fragile et assez tendre. Dans certaines zones, la surface est très grenue, tandis qu'en autres endroits, elle est très abîmée ou, parfois, elle est tombée. L'objet a également tendance à perdre de la couleur dans l'eau. Cependant, l'ensemble de l'andouiller offre une apparence assez solide.

La partie spongieuse est encore présente, elle est très dense et compacte.

Une grande partie de l'objet est recouverte de terre. Aucune fissure n'est présente sur l'objet et aucune algue ou miro-organisme n'ont été observés.

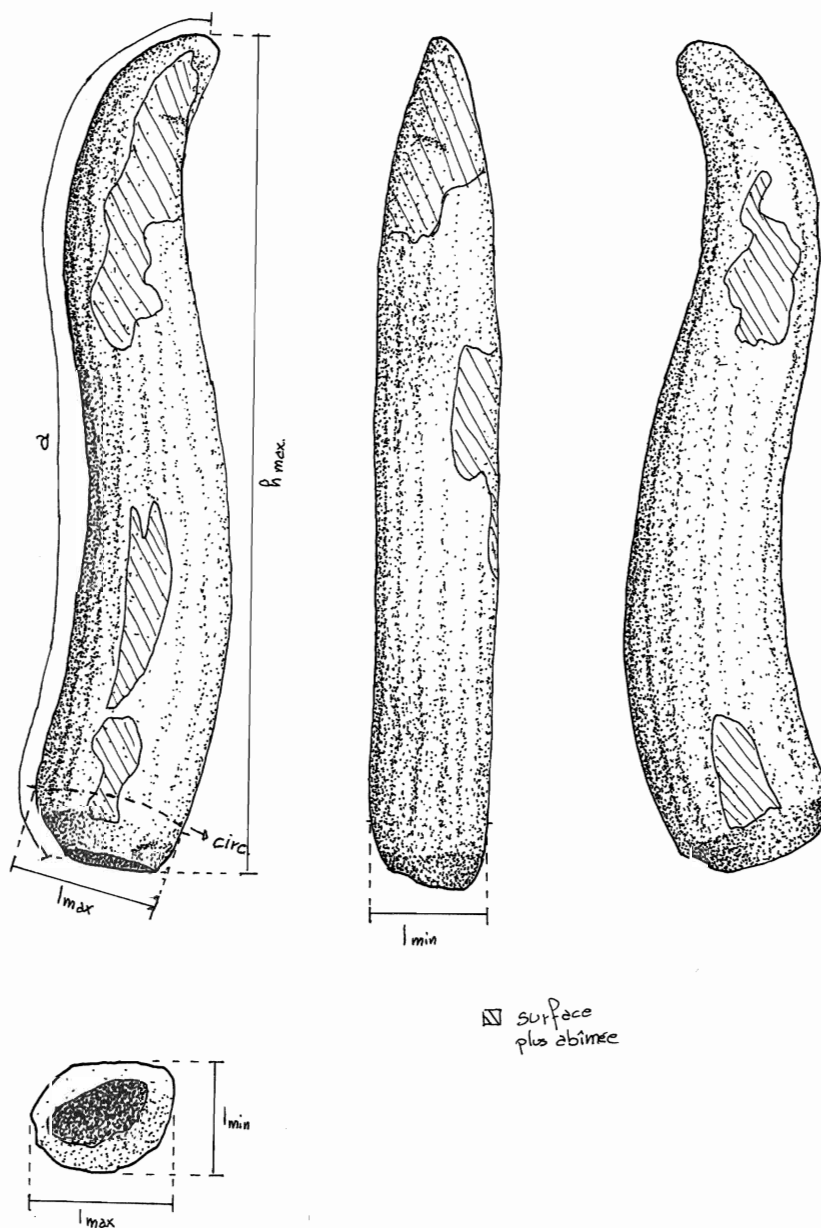


Fig.1 et 2 : Andouiller avant traitement (échelle 1 :2,5)

Dimensions et poids de l'andouiller :

MP 14714

1:2



	avant traitement	après traitement	différence	différence en %
h_{\max}	221 mm	218 mm	- 3 mm	- 1,36 %
l_{\max}	37,35 mm	35,00 mm	- 2,35 mm	- 6,29 %
l_{\min}	29,80 mm	28,25 mm	- 1,55 mm	- 5,20 %
a	222,5 mm	220,0 mm	- 2,5 mm	- 1,12 %
circ.	105,5 mm	98,50 mm	- 7 mm	- 6,63 %
retrait moyen				- 5,65 %
poids	187,04 g	133,42 g.	- 53,62 g.	- 28,67 %

Traitement :

- Nettoyage de l'objet avec un pinceau, sous un fin jet d'eau déminéralisée.
- Immersion de l'objet dans un bain de Lactitol à 30 %, dans l'eau déminéralisée, pendant un mois.
- Rapide rinçage de la surface de l'objet avec de l'eau déminéralisée, pour enlever le surplus de Lactitol.
- Léger séchage de la surface avec du papier ménage et application d'une fine couche de cristaux de Lactitol monohydrate en surface, pour favoriser sa formation.
- Séchage au four à une température de 50°C pendant 21 heures.

Observations après traitement :

Une semaine après la fin du séchage une volumineuse configuration cristalline est apparue sur la base de l'andouiller. Très probablement, le séchage était insuffisant et l'eau était encore présente à l'intérieur de l'objet. Le Lactitol trihydrate a alors pu se cristalliser en augmentant de volume, et le sucre est apparu à la surface de l'objet.

La partie la plus volumineuse de Lactitol trihydrate a été enlevée au scalpel, et la partie la plus proche de la surface de l'objet a été nettoyée à l'eau chaude. L'andouiller a ensuite été séché au four, à une température de 50°C pendant quatre heures.

Après traitement, l'andouiller a subi un grand rétrécissement, mais il ne s'est pas déformé. Ce rétrécissement est plus important en largeur qu'en hauteur. Pendant le séchage, plusieurs fissures longitudinales se sont formées à la surface de l'objet et la base de l'andouiller, a été abîmée par la cristallisation du Lactitol trihydrate. L'objet est solide, mais présente une surface d'une couleur assez foncée.

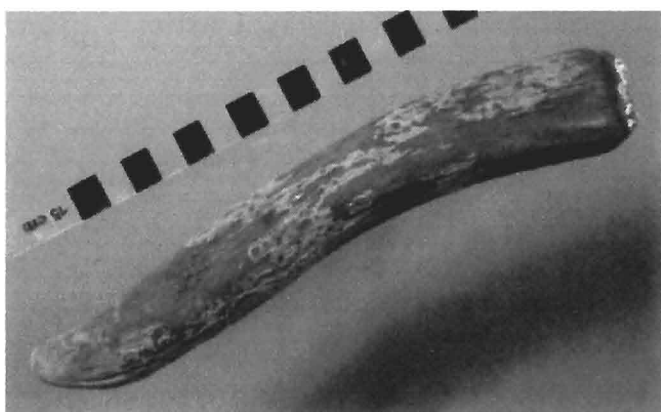


Fig.3 et 4 : Cristallisation du Lactitol trihydrate sur la surface de l'objet (échelle 1 :2,5 et 1 :1)



Fig.7 : Détail de la surface fissuré (échelle 1 :0,75)

Fig.5 et 6 : Andouiller après traitement (échelle 1 :2,5)

Marin les Piécettes 14750

Description de l'objet gorgé d'eau :

Deux objets en bois de cerf non jointifs. La première pièce est composée d'un grand fragment à deux pointes provenant probablement du sommet de la couronne d'un bois de cerf. La deuxième pièce est formée par un petit fragment d'andouiller avec le sommet de la pointe cassée. Dans les deux cas, les objets présentent une circonférence complète. Il s'agit probablement de deux déchets de fabrication.

Les deux objets sont de couleur brun rougeâtre. Ils ont une apparence solide, mais leur surface est très fragile et tendre. La partie spongieuse est très dense et assez compacte.

Le grand fragment a tendance à perdre de la couleur dans l'eau. Sa surface est assez grenue et porte quelque trace d'usure. La surface du petit fragment est très lisse. Aucun des deux objets ne présente de fissures et les deux sont presque complètement recouverts de terre. Aucun miro-organisme n'a été observé sur les deux pièces.

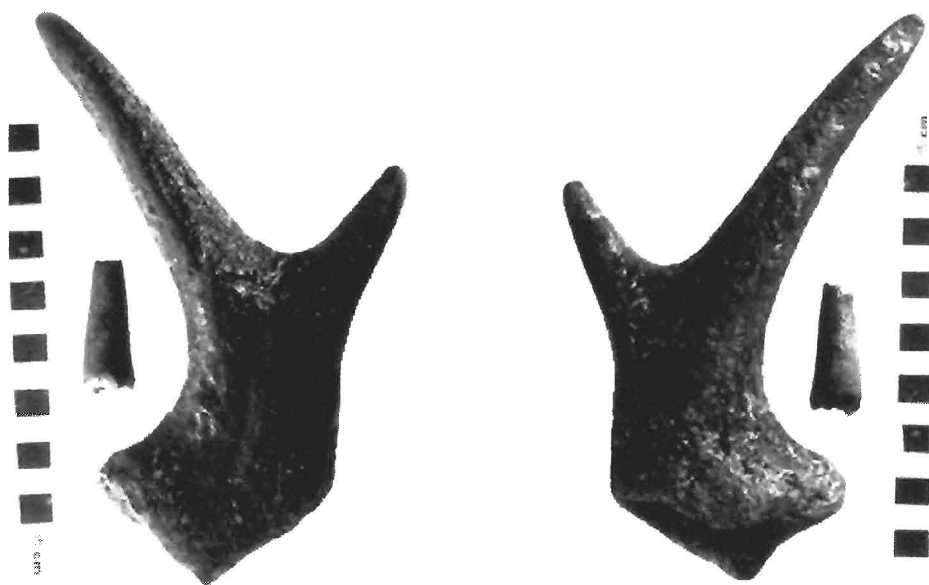


Fig.1 et 2 : Objet avant traitement (échelle 1 :3)

Observations après traitement :

À la fin du traitement l'objet a subi un rétrécissement important. On peut observer que le retrait est plus fort en largeur qu'en hauteur. Aucune déformation ne s'est produite. Pendant le séchage plusieurs fines fissures longitudinales se sont formées à la surface de l'objet. Ces fissures se concentrent surtout sur le dos de l'andouiller et près de la base et de la pointe de la pièce.

L'objet présente une couleur naturelle et il est solide.

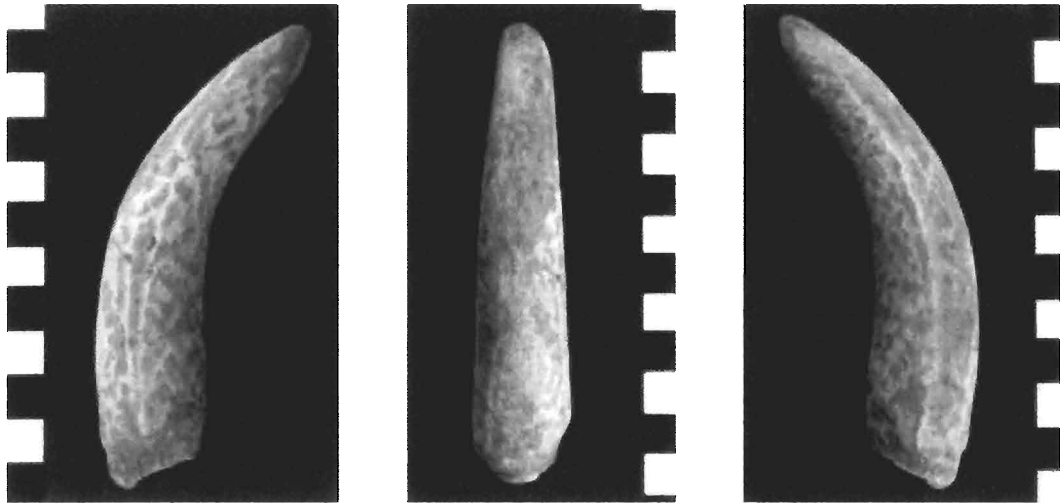


Fig.3, 4 et 5 : Andouiller après séchage (échelle 1 :2)

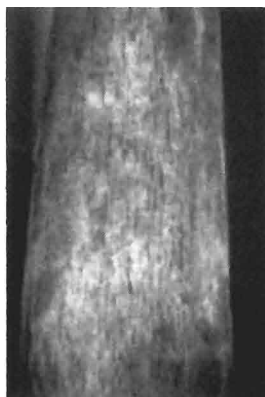


Fig.6 : Détail des fissures sur le dos de l'andouiller (échelle 1 :0,6)

Marin les Piécettes 14752

Description de l'objet gorgé d'eau :

Andouiller de bois de cerf cassé en deux fragments jointifs. Il s'agit probablement d'un déchet de fabrication. Les deux fragments sont de couleur orange rougeâtre et la pièce possède une circonférence complète.

Une moitié de la base de l'objet possède une coupure régulière, tandis que l'autre moitié présente une cassure. Le sommet de la pointe est absent.

La surface est lisse et très usée, et elle est très fragile et très tendre. La partie spongieuse est encore présente, mais elle est très tendre et friable. L'objet a également la tendance à perdre de la couleur dans l'eau.

Quatre petites fissures sont présentes près de la pointe de l'andouiller et trois autres fissures se trouvent près de la base du fragment le plus petit.

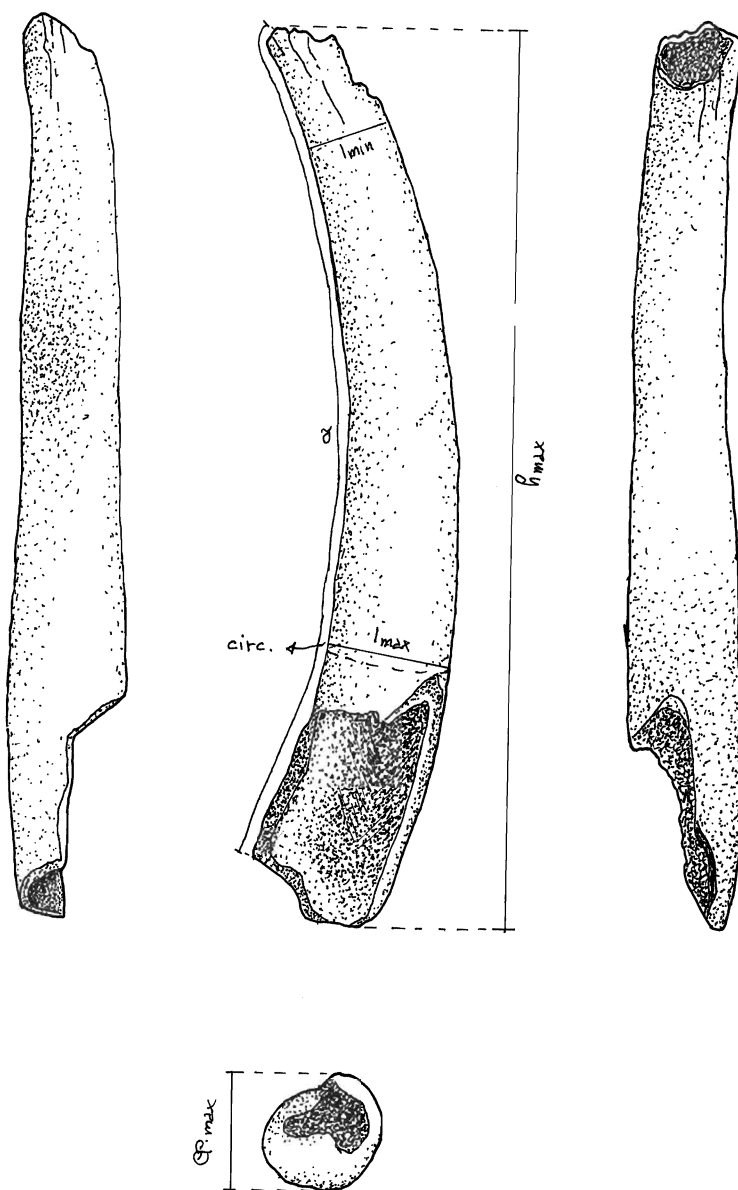
Une grande partie de l'objet est recouverte de terre et aucune algue ou miro-organisme n'ont été observés.



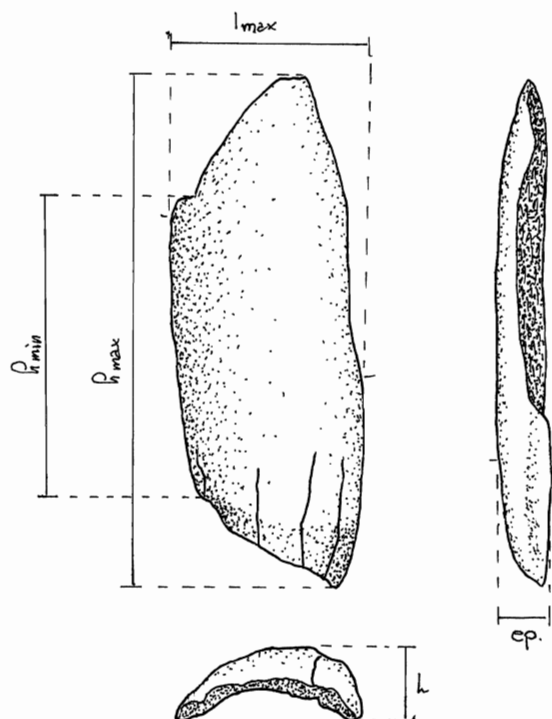
Fig.1 et 2 : Objet avant traitement (échelle 1 :2,5)

Dimensions et poids de l'objet :

HP 14752 *grand. frag.* 1:2



MP 14752 petit frag. 1:1



		avant traitement	après traitement	différence	différence en %
grand fragment	h_{max}	240 mm	239 mm	- 1 mm	- 0,41 %
	l_{max}	32,25 mm	30,70 mm	- 1,55 mm	- 4,81 %
	l_{min}	23,00 mm	22,55 mm	- 0,45 mm	- 1,96 %
	a	232 mm	231 mm	- 1 mm	- 0,43 %
	circ.	101 mm	96 mm	- 5 mm	- 4,95 %
	ep_{max}	30,50 mm	30,40 mm	- 0,10 mm	- 0,32 %
petit fragment	h_{max}	67,90 mm	67,40 mm	- 0,50 mm	- 0,74 %
	h_{min}	41,30 mm	41,05 mm	- 0,25 mm	- 0,60 %
	l_{max}	25,20 mm	25,05 mm	- 0,15 mm	- 0,59 %
	L	9,65 mm	9,15 mm	- 0,50 mm	- 5,18 %
	ep.	5,90 mm	5,70 mm	- 0,20 mm	- 3,39 %
retrait moyen					- 2,12 %
poids		174,73 g	122,04 g.	- 56, 69 g.	30,16 %

Traitement :

- Nettoyage de l'objet avec un pinceau, sous un fin jet d'eau déminéralisée.
- Immersion de l'objet dans un mélange de PEG 1000 (18 %), de PEG 400 (2 %) et d'eau déminéralisée pendant un mois.
- Rapide rinçage de la surface de l'objet avec de l'eau déminéralisée, pour enlever le surplus de PEG à la surface de l'objet.
- Séchage lent et contrôlé de l'objet dans une chambre humide pendant six semaines.
- Collage des deux fragments au PVAC (acétate de polyvinyle).

Observations après traitement :

Après le traitement, l'objet a subi un rétrécissement assez important. Le retrait du grand fragment est plus important en largeur qu'en hauteur. Aucune déformation n'a été remarquée et les deux fragments sont encore jointifs. Les fissures présentes sur les deux fragments se sont allongées pendant le séchage et plusieurs nouvelles petites fissures longitudinales se sont formées. Ces fissures se concentrent en particulier près de la pointe et près de la base de l'objet.

L'andouiller présente une couleur naturelle et il est solide.



Fig.3 et 4: Objet après séchage (échelle) et détail des fissures sur la base du grand fragment (échelle 1 :2,5)

	avant traitement	après traitement	différence	différence en %
h_{\max}	210 mm	207 mm	- 3 mm	- 1,43 %
l_{\max}	42,85 mm	39,65 mm	- 3,20 mm	- 7,47 %
l_{\min}	34,35 mm	31,60 mm	- 2,75 mm	- 8,01 %
a	233 mm	226 mm	- 7 mm	- 3,00 %
circ.	123,10 mm	145 mm	- 8,60 mm	- 6,98 %
ep_{\min}	8,30 mm	8,20 mm	- 0,10 mm	- 1,22 %
retrait moyen				- 4,68 %
poids	174,15 g	116,65 g.	- 57,50 g.	- 33,02 %

Traitement :

- Nettoyage de l'objet avec un pinceau, sous un fin jet d'eau déminéralisée.
- Immersion de l'objet dans un bain de Primal® WS 24 à 4 % dans l'eau déminéralisée pendant un mois.
- Séchage lent et contrôlé de l'andouiller dans une chambre humide pendant six semaines.

Observations après traitement :

À la fin du traitement l'objet a subi un rétrécissement important. On peut observer que le retrait est plus grand en largeur qu'en hauteur. Aucune déformation ne s'est produite. Pendant le séchage, plusieurs fissures longitudinales se sont formées à la surface de l'objet. Ces fissures se concentrent en particulier sur le dos de l'andouiller et près de la base et de la pointe de la pièce. Une très grande fissure, de l'ouverture de deux millimètres, traverse également toute la longueur de l'objet. Même avec cette grande fissure, l'objet est solide. L'andouiller présente une couleur naturelle.

- Léger séchage des pièces avec du papier ménage et application d'une fine couche de cristaux de Lactitol monohydrate en surface, pour favoriser sa formation.
- Séchage des morceaux dans le four à 50°C pendant 5 heures.
- Collage des quatre fragments au PVAC (acétate de polyvinyle).

Observations après traitement :

Après le traitement, les quatre morceaux se sont rétrécis en largeur et en profondeur, tandis que la hauteur est restée stable. L'andouiller n'a pas subi de déformations et les quatre fragments sont encore jointifs. Les morceaux sont solides et aucune fissure ne s'est formée sur les fragments. Sous microscope, on s'aperçoit que la surface est parfois un peu craquelée.

L'aspect final de l'objet présente une couleur naturelle et les détails de la surface sont bien visibles.

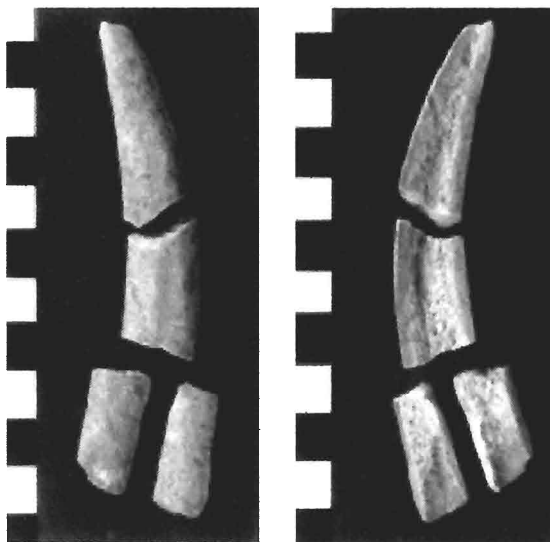


Fig.3 et 4 : Objet après séchage (échelle 1 :1,5)



Fig.5 : Objet après collage (échelle 1 :1,15)

Hitzkirch Seematte 0008

Description de l'objet gorgé d'eau :

Andouiller de bois de cerf très courbé. Il s'agit peut-être d'un manche d'outil.

L'objet est de couleur brun très clair, avec parfois des parties noires. Il possède une circonférence complète et il a une apparence solide. La base de la pièce est formée par une coupure régulière et le début de la partie spongieuse a été supprimée ou elle a disparu.

La surface est très rugueuse et très peu usée. Sur la base de l'andouiller, une partie de la surface est absente. Des galeries ouvertes sont présentes sur un côté de l'objet. Elles ont peut-être été provoquées par l'érosion de l'eau. Près de la pointe, plusieurs rayures sont présentes.

Une grande partie de la base de l'andouiller est recouverte par des algues vertes. Aucune fissure n'est présente sur l'objet.



Fig.1 et 2 : Andouiller avant traitement (échelle 1 :2)

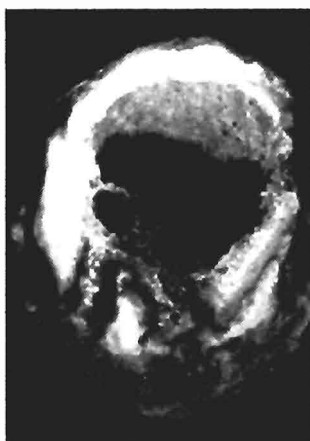


Fig.3 : Andouiller avant traitement (échelle 1 :0,6)

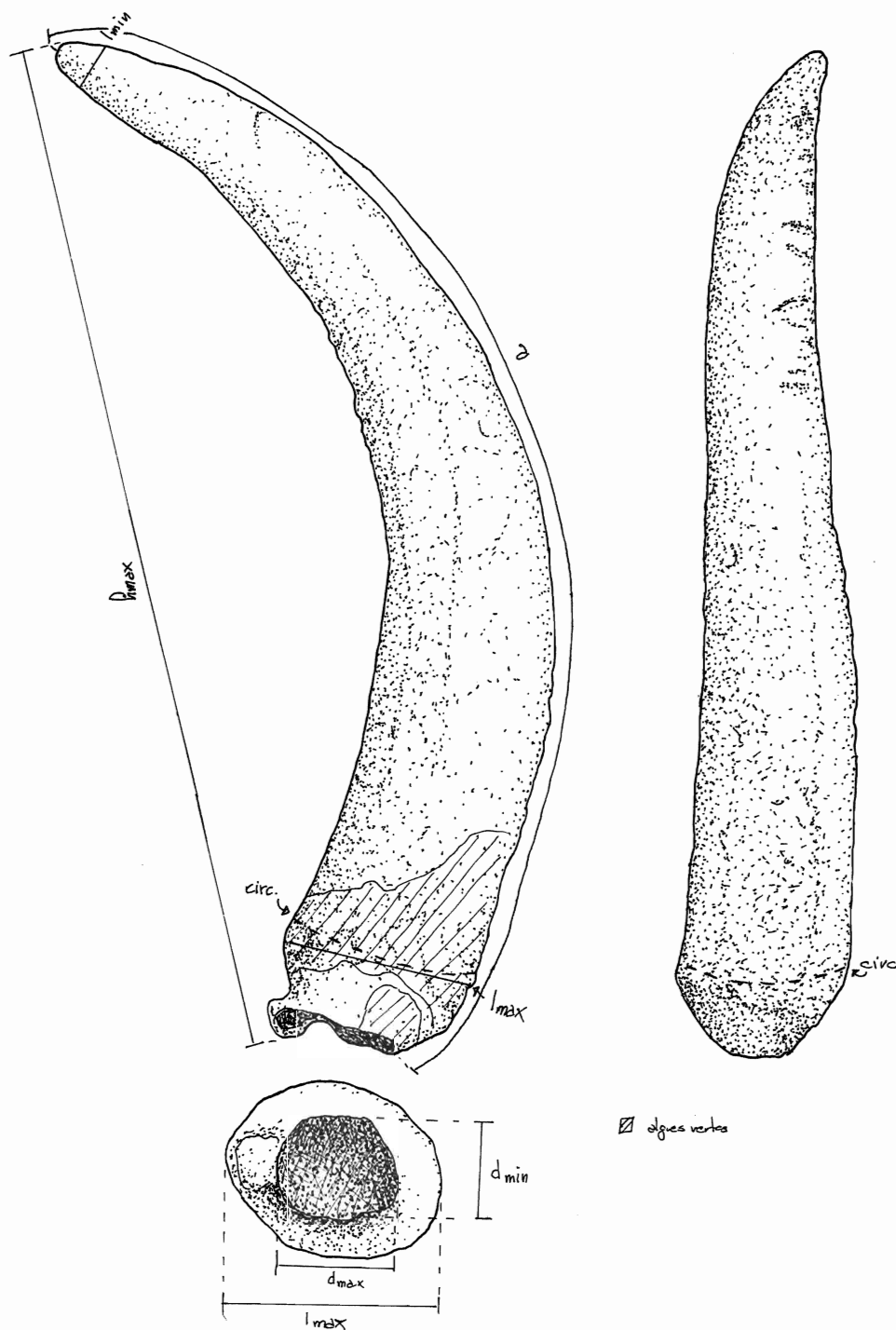


Fig.4 : Surface parcourue par des galeries ouvertes (échelle 1 :1,25)

Dimensions et poids de l'andouiller :

	avant traitement	après traitement	différence	différence en %
h_{\max}	160 mm	157 mm	- 3 mm	- 1,87 %
l_{\max}	29,65 mm	29,00 mm	- 0,65 mm	- 0,65 %
l_{\min}	7,40 mm	7,40 mm	0 mm	0 %
a	202,5 mm	199,0 mm	- 3,50 mm	- 1,73 %
circ.	87,00 mm	84,65 mm	- 2,35 mm	- 2,70 %
d_{\max}	13,70 mm	13,65 mm	- 0,05 mm	- 0,36 %
d_{\min}	12,60 mm	12,60 mm	0 mm	0 %
retrait moyen				-1,26 %
poids	96,68 g	76,89 g.	- 19,79 g.	- 20,47 %

Hs 0008 1:1



Traitement :

- Nettoyage de l'objet sous un fin jet d'eau déminéralisée. La plus grande partie de microorganisme a été enlevée avec un pinceau et une spatule en bois.
- Immersion de l'objet dans un bain de Lactitol à 30 % dans l'eau déminéralisée pendant deux semaines.
- Rapide rinçage de l'andouiller avec de l'eau déminéralisée, pour enlever le surplus de Lactitol.
- Léger séchage de la pièce avec du papier ménage et application d'une fine couche de cristaux de Lactitol monohydrate en surface, pour favoriser sa formation.
- Séchage de l'objet dans le four à 50°C pendant 8 heures.

Observations après traitement :

Après traitement, on remarque que l'andouiller a subi un rétrécissement assez important, mais aucune déformation n'a été constatée. Pendant du séchage, deux petites fissures se sont formées près de la pointe de l'andouiller. L'objet est solide et présente une couleur naturelle. Les détails de la surface sont bien visibles.

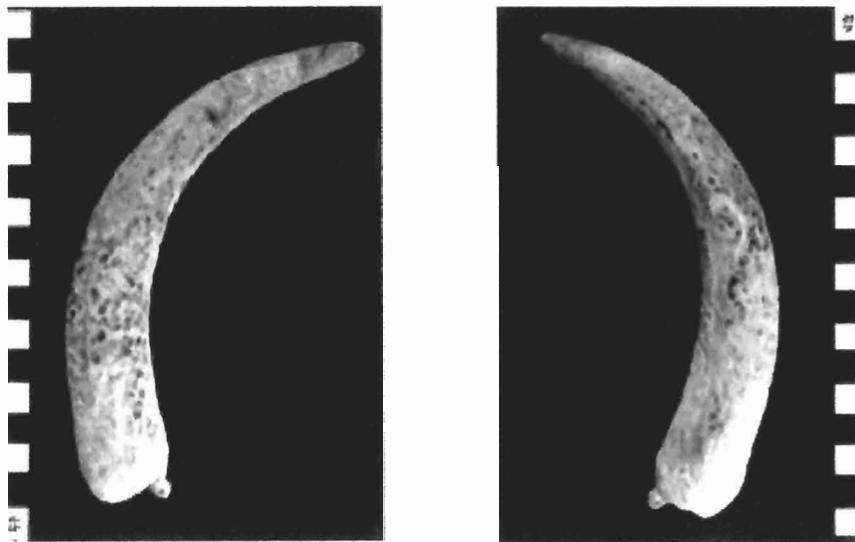


Fig.5 et 6 : Andouiller après traitement (échelle 1 :2,5)

	avant traitement	après traitement	différence	différence en %
h_{\max}	44,25 mm	44,10 mm	- 0,15 mm	- 0,34 %
l_{\max}	67,90 mm	67,50 mm	- 0,40 mm	- 0,59 %
L_{\max}	38,35 mm	37,15 mm	- 0,20 mm	- 0,52 %
L_{\min}	22,35 mm	21,60 mm	- 0,75 mm	- 3,36 %
ep.	4,50 mm	4,45 mm	- 0,05 mm	- 1,11 %
retrait moyen				- 1,18 %
poids	48,66 g	30,48 g.	- 18,18 g.	- 37,36 %

Traitement :

- Nettoyage de l'objet avec un pinceau, sous un fin jet d'eau déminéralisée. La plus grande partie du champignon a été enlevée avec une petite pince. Puisqu'il pénétrait profondément dans l'objet, une partie n'a pas pu être éliminée.
- Immersion de la pièce dans un bain de Primal® WS 24 à 4 % dans l'eau déminéralisée pendant deux semaines sous vide partiel (500 mbar).
- Séchage lent et contrôlé dans une chambre humide pendant six semaines

Observations après traitement :

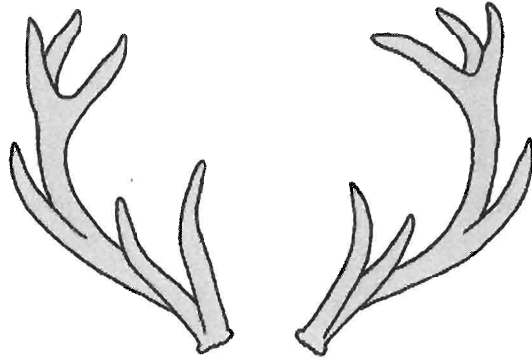
Après le traitement, l'objet a subi un rétrécissement assez important, mais aucune déformation n'a été observée. Pendant le séchage, plusieurs fissures assez grandes se sont formées sur la surface de l'objet. L'andouiller présente une couleur naturelle et, malgré les nombreuses fissures, il est solide.

pH des objets

Le pH de l'eau a été mesuré avec un pH-mètre. Deux mesures ont été effectuées : la première a été relevée sur l'eau présente dans les mini-grips® contenant les objets à leur arrivée au musée. La deuxième mesure a, par contre, été effectuée après avoir plongé les bois de cerf dans de l'eau déminéralisée fraîche pendant 48 heures.

Les premières valeurs du pH des bois de cerf HS 007A, HS 0008 et HS 009 sont absentes puisque l'eau présente dans les mini-grips® était insuffisante pour une mesure.

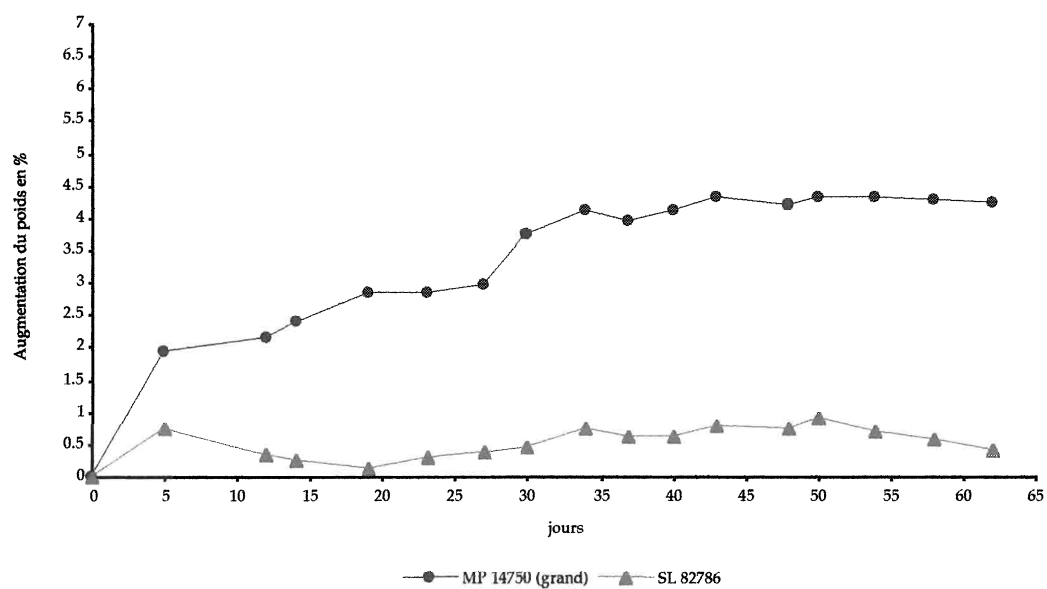
	pH mini-grips	pH après 48 h
SL 82739 :	pH 7,56	pH 7,49
SL 82751 :	pH 7,53	pH 7,43
SL 82756 :	pH 7,32	pH 7,34
SL 82778 :	pH 7,51	pH 7,44
SL 82779 :	pH 7,46	pH 7,58
SL 82780 :	pH 7,68	pH 7,64
SL 82781 :	pH 7,59	pH 7,31
SL 82782 :	pH 7,45	pH 7,51
SL 82784 :	pH 7,52	pH 7,27
SL 82785 :	pH 7,58	pH 7,52
SL 82786 :	pH 7,37	pH 7,30
SL 82787 :	pH 7,59	pH 7,52
SL 82788 :	pH 7,15	pH 7,24
SL 82790 :	pH 7,30	pH 7,48
MP 14495 :	pH 7,44	pH 7,27
MP 14714 :	pH 7,64	pH 7,44
MP 14750 :	pH 7,36	pH 7,34
MP 14751 :	pH 7,72	pH 7,41
MP 14752 :	pH 7,51	pH 7,59
MP sans numéro :	pH 7,57	pH 7,58
HS 0007A :	-	pH 7,63
HS 0008 :	-	pH 7,73
HS 0009 :	-	pH 7,42
Eau déminéralisée :	pH 5,67	



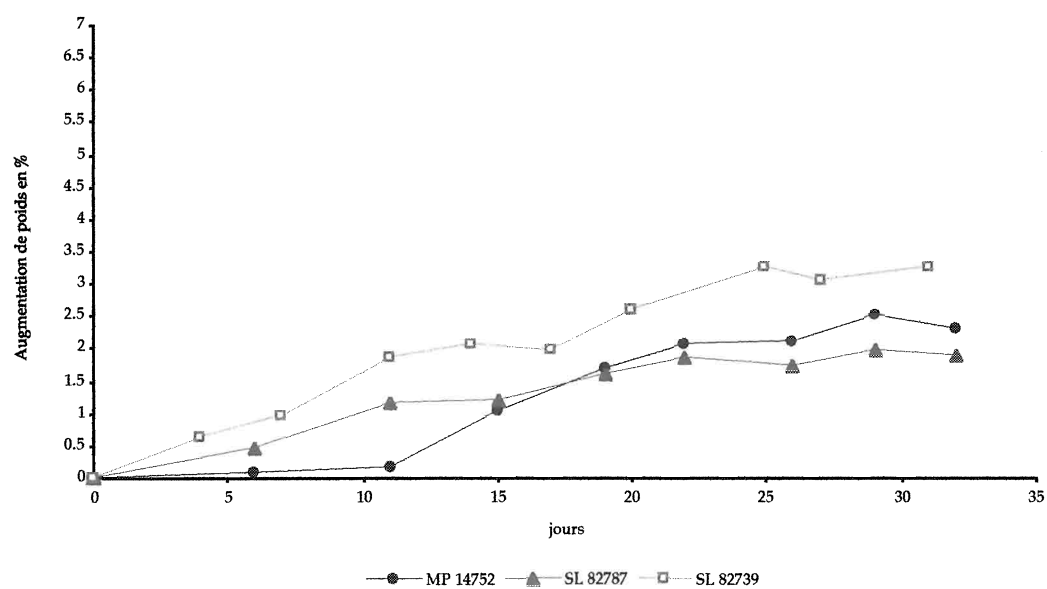
Annexe 4 :

**Graphiques de l'augmentation de poids des
objets lors des imprégnations**

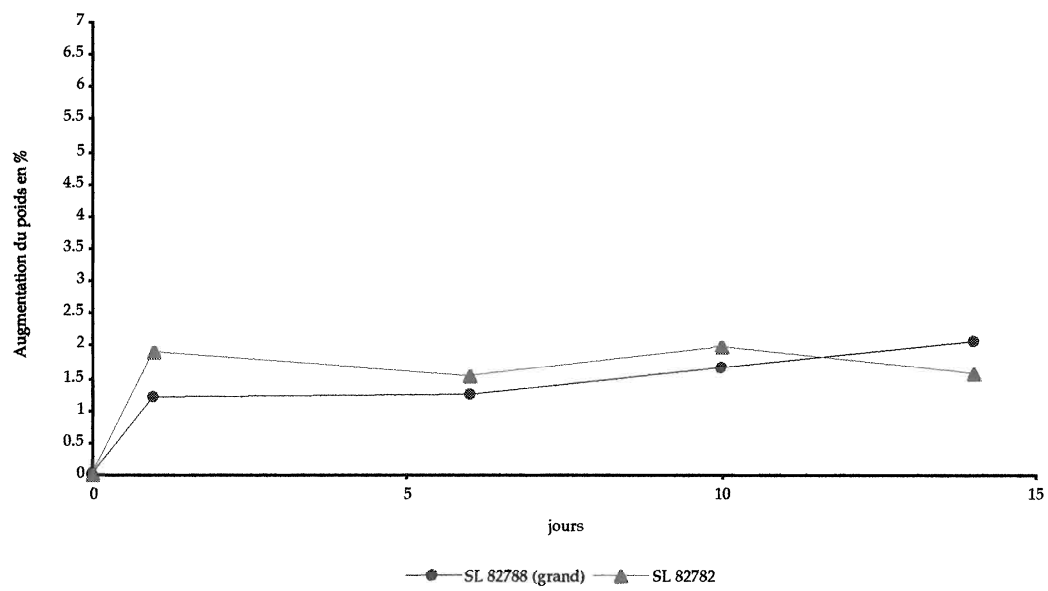
Bain PEG 2 mois



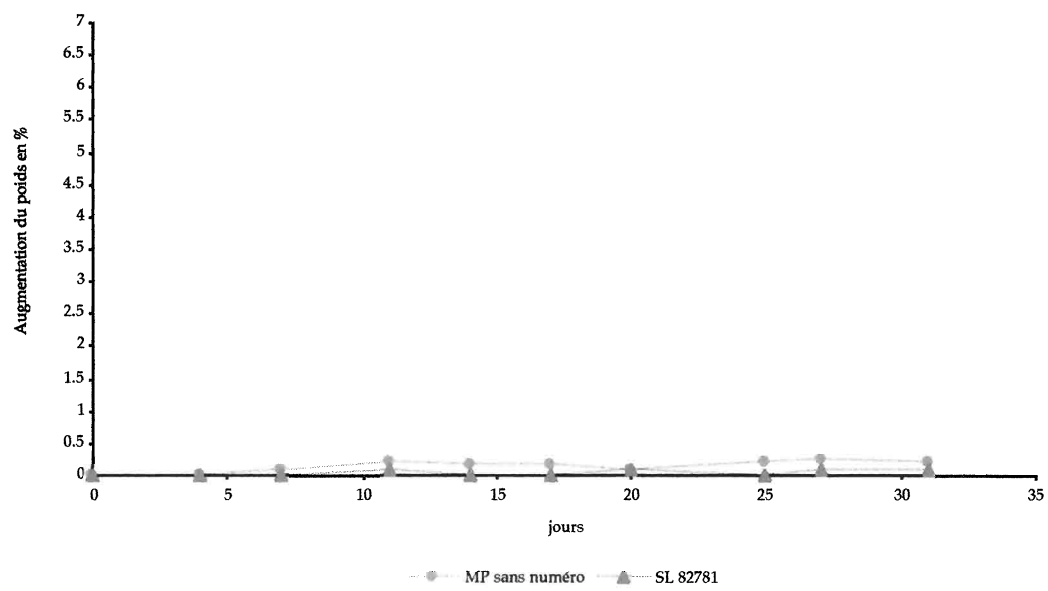
Bain PEG 1 mois



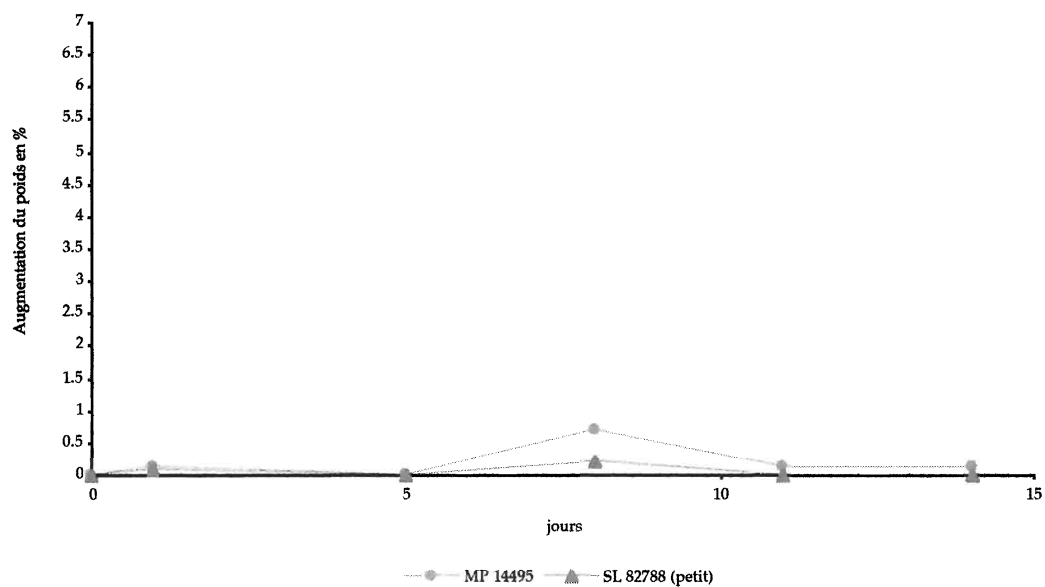
Bain PEG 2 semaines



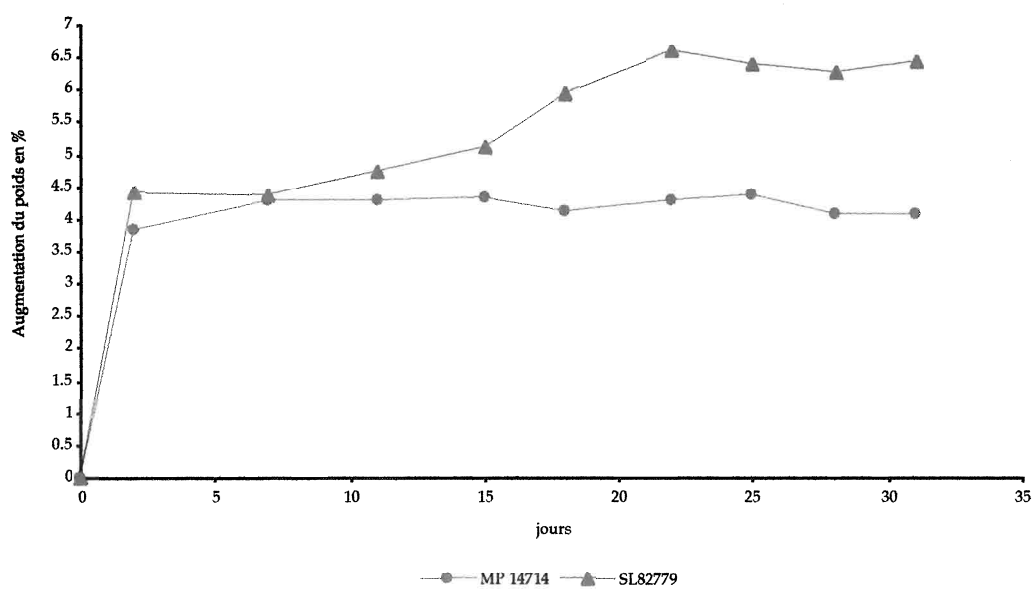
Bain Primal® WS 24 1 mois



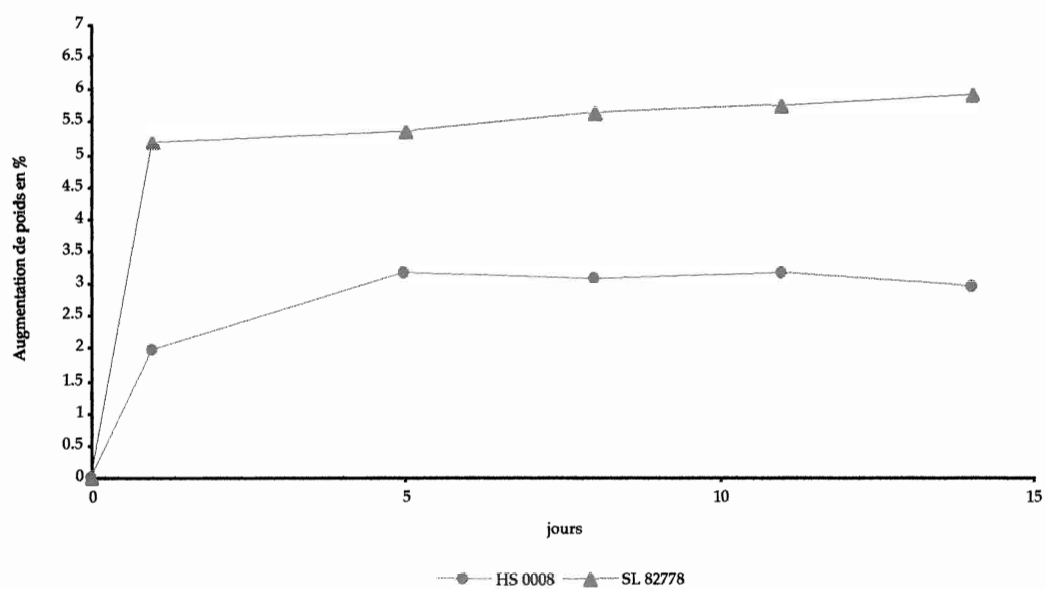
Bain Primal® WS 24 2 semaines



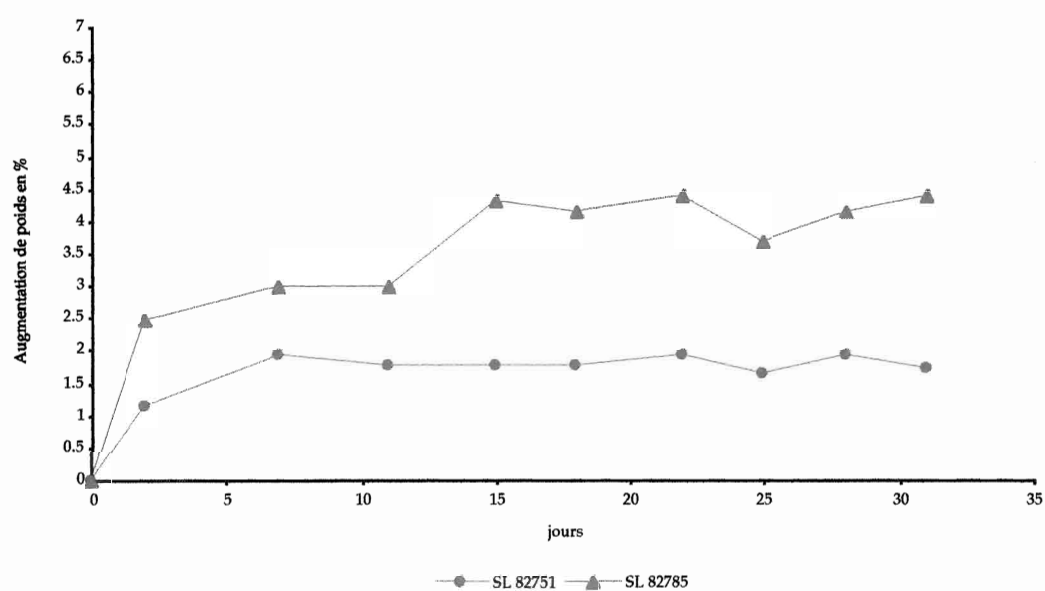
Bain Latitol 30 % 1 mois

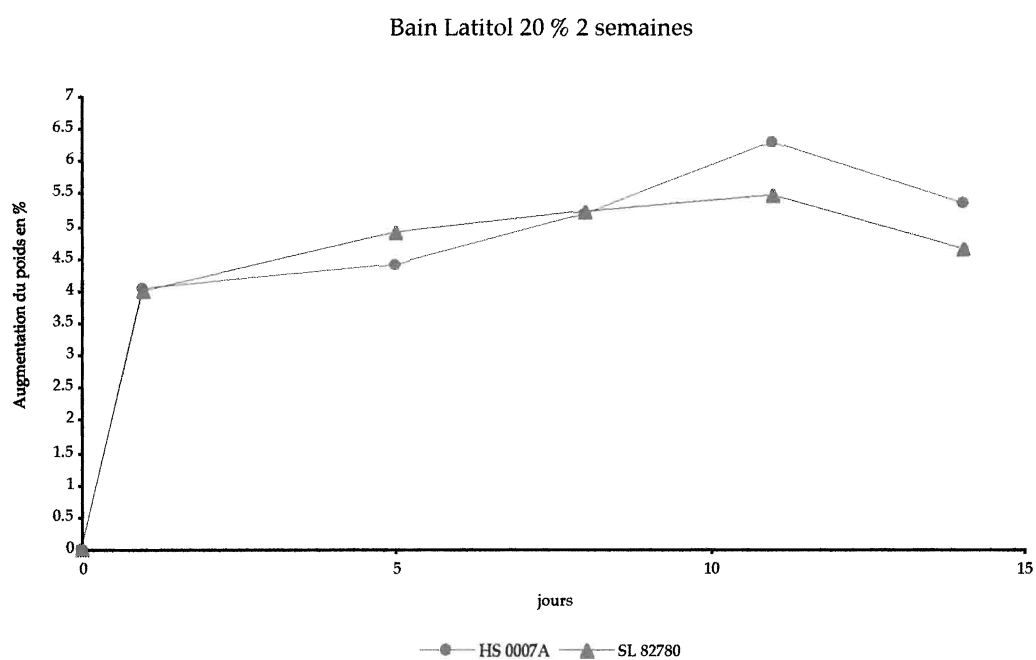


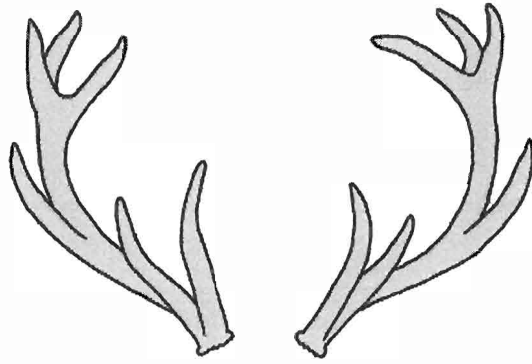
Bain Latitol 30 % 2 semaines



Bain Latitol 20 % 1 mois



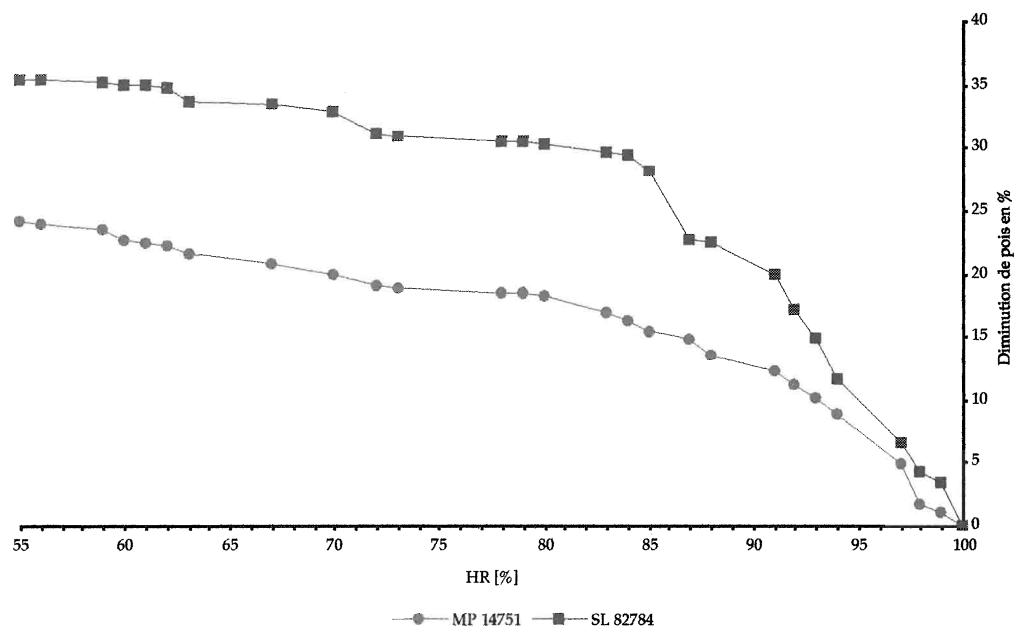




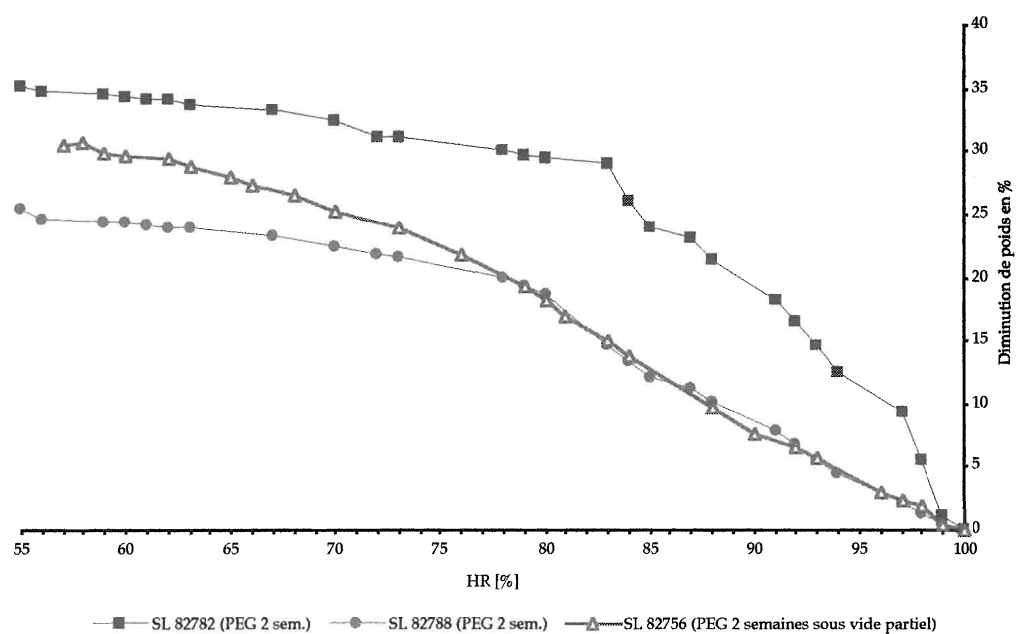
Annexe 5 :

**Graphiques de la diminution de poids des
objets lors des séchages**

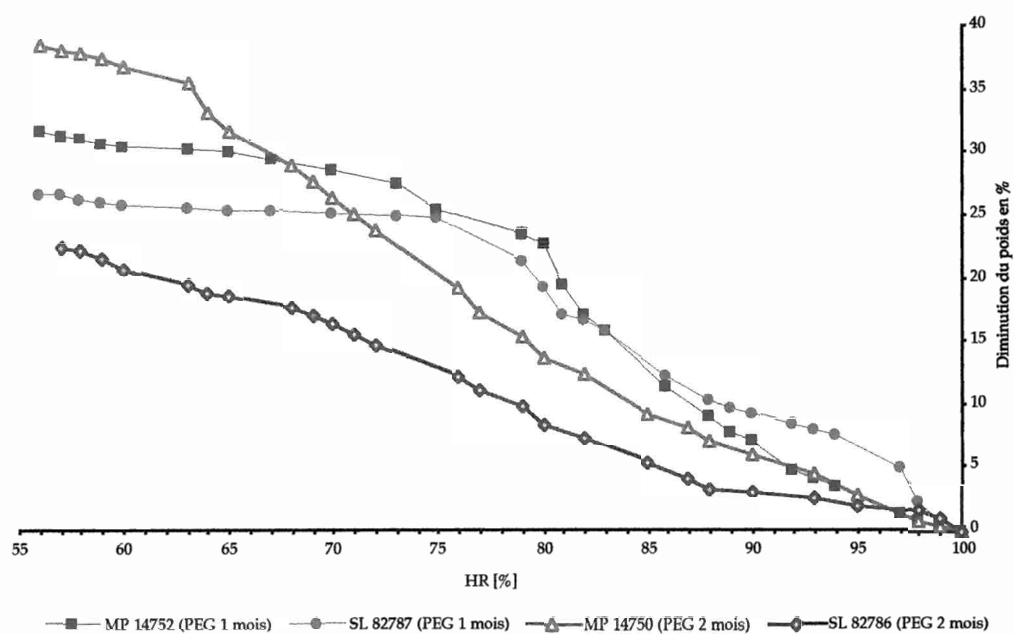
Séchage des objets non traités



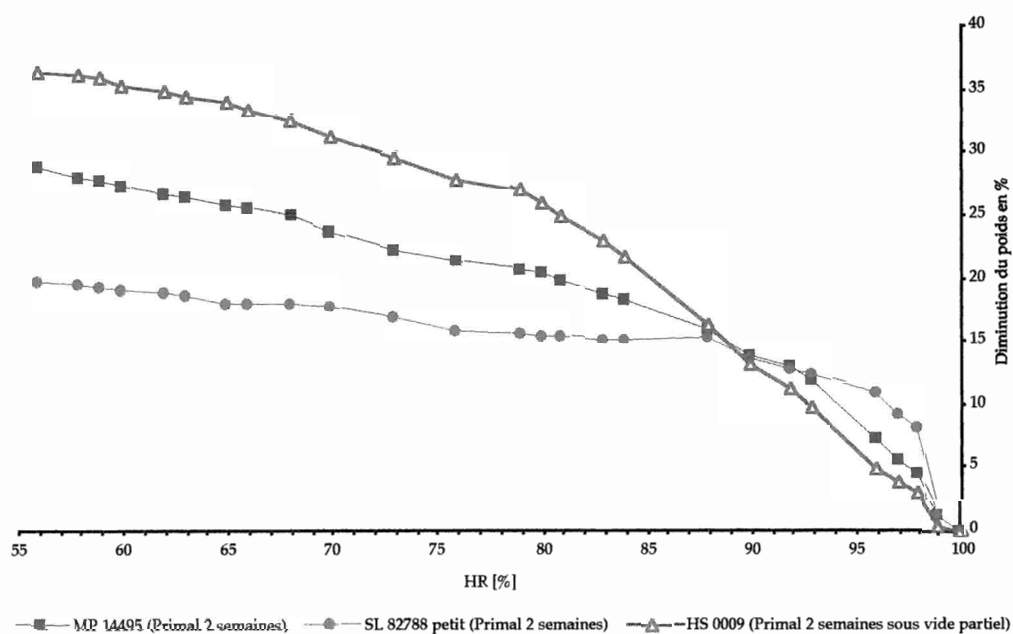
Séchage des objets traités au PEG



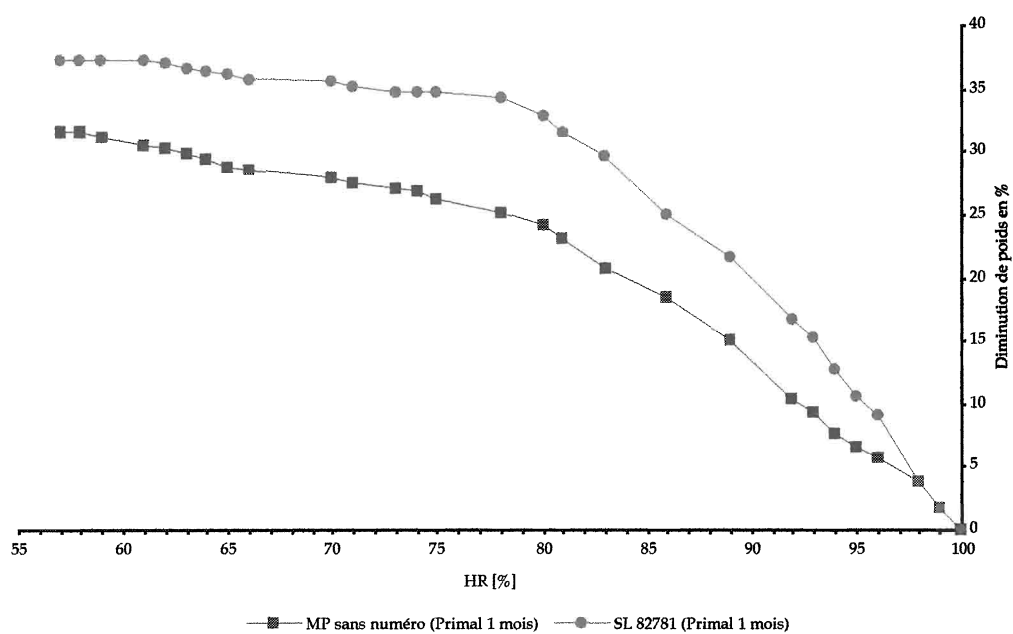
Séchage des objets traités au PEG

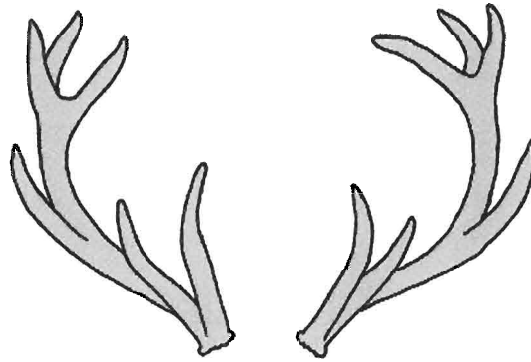


Séchage des objets traités au Primal® WS 24



Séchage des objets traités au Primal® WS 24





Annexe 6 :

Données mesurées pendant la lyophilisation

Données mesurées pendant la lyophilisation :

Sondes thermiques :

1, 4 et 5 : sondes de références : la température à l'intérieur de l'enceinte du lyophilisateur.

6 : sonde placée sur l'objet

7 : sonde placée sous l'objet (en panne lors de la lyophilisation)

8 et 9 : sondes installées à l'intérieur de l'objet, dans la partie spongieuse du bois de cerf.

Humidité relative : sonde 10

DATE: 24.06.02
11:03:41 00: - - - °C NiCr
01: +0030.0 °C NiCr
02: - - - °C NiCr
03: - - - °C NiCr
04: +0025.2 °C NiCr
05: +0021.4 °C NiCr
06: -0002.5 °C NiCr
07: - - - °C NiCr
08: -0027.8 °C NiCr
09: -0027.8 °C NiCr
10: +0060.7 %H % rH

DATE: 24.06.02
11:05:58 00: - - - °C NiCr
01: +0047.9 °C NiCr
02: - - - °C NiCr
03: - - - °C NiCr
04: +0007.1 °C NiCr
05: +0011.2 °C NiCr
06: -0019.0 °C NiCr
07: - - - °C NiCr
08: -0024.9 °C NiCr
09: -0024.6 °C NiCr
10: +0009.0 %H % rH

DATE: 24.06.02
11:17:25 00: - - - °C NiCr
01: +0031.3 °C NiCr
02: - - - °C NiCr
03: - - - °C NiCr
04: +0023.5 °C NiCr
05: +0023.2 °C NiCr
06: -0020.1 °C NiCr
07: - - - °C NiCr
08: -0024.1 °C NiCr
09: -0024.3 °C NiCr
10: +0003.5 %H % rH

DATE: 24.06.02
11:23:00 00: - - - °C NiCr
01: +0030.3 °C NiCr
02: - - - °C NiCr
03: - - - °C NiCr
04: +0024.1 °C NiCr
05: +0024.0 °C NiCr
06: -0020.7 °C NiCr
07: - - - °C NiCr
08: -0025.6 °C NiCr
09: -0025.6 °C NiCr
10: +0003.0 %H % rH

DATE: 24.06.02
13:32:36 00: - - - °C NiCr
01: +0031.0 °C NiCr
02: - - - °C NiCr
03: - - - °C NiCr
04: +0025.2 °C NiCr
05: +0025.3 °C NiCr
06: -0016.7 °C NiCr
07: - - - °C NiCr
08: -0024.3 °C NiCr
09: -0024.4 °C NiCr
10: +0002.3 %H % rH

DATE: 24.06.02
13:44:29 00: - - - °C NiCr
01: +0031.1 °C NiCr
02: - - - °C NiCr
03: - - - °C NiCr
04: +0025.3 °C NiCr
05: +0025.4 °C NiCr
06: -0016.4 °C NiCr
07: - - - °C NiCr
08: -0024.3 °C NiCr
09: -0024.3 °C NiCr
10: +0002.3 %H % rH

DATE: 24.06.02
14:24:55 00: - - - °C NiCr
01: +0030.9 °C NiCr
02: - - - °C NiCr
03: - - - °C NiCr
04: +0025.6 °C NiCr
05: +0025.6 °C NiCr
06: -0015.4 °C NiCr
07: - - - °C NiCr
08: -0024.0 °C NiCr
09: -0024.0 °C NiCr
10: +0002.3 %H % rH

DATE: 24.06.02
14:58:42 00: - - - °C NiCr
01: +0029.8 °C NiCr
02: - - - °C NiCr
03: - - - °C NiCr
04: +0025.7 °C NiCr
05: +0025.6 °C NiCr
06: -0014.7 °C NiCr
07: - - - °C NiCr
08: -0023.8 °C NiCr
09: -0023.9 °C NiCr
10: +0002.3 %H % rH

DATE: 24.06.02
15:17:50 00: - - - °C NiCr
01: +0029.7 °C NiCr
02: - - - °C NiCr
03: - - - °C NiCr
04: +0025.6 °C NiCr
05: +0025.6 °C NiCr
06: -0014.3 °C NiCr
07: - - - °C NiCr
08: -0023.7 °C NiCr
09: -0023.8 °C NiCr
10: +0002.3 %H % rH

DATE: 24.06.02
 15:34:03 00: - - - °C NiCr
 01: +0029.7 °C NiCr
 02: - - - °C NiCr
 03: - - - °C NiCr
 04: +0025.6 °C NiCr
 05: +0025.6 °C NiCr
 06: -0014.1 °C NiCr
 07: - - - °C NiCr
 08: -0023.7 °C NiCr
 09: -0023.8 °C NiCr
 10: +0002.3 %H % rH

DATE: 24.06.02
 16:04:14 00: - - - °C NiCr
 01: +0029.0 °C NiCr
 02: - - - °C NiCr
 03: - - - °C NiCr
 04: +0025.6 °C NiCr
 05: +0025.5 °C NiCr
 06: -0013.4 °C NiCr
 07: - - - °C NiCr
 08: -0023.6 °C NiCr
 09: -0023.7 °C NiCr
 10: +0002.2 %H % rH

DATE: 24.06.02
 16:25:57 00: - - - °C NiCr
 01: +0028.5 °C NiCr
 02: - - - °C NiCr
 03: - - - °C NiCr
 04: +0025.6 °C NiCr
 05: +0025.6 °C NiCr
 06: -0013.0 °C NiCr
 07: - - - °C NiCr
 08: -0023.6 °C NiCr
 09: -0023.7 °C NiCr
 10: +0002.2 %H % rH

DATE: 24.06.02
 16:34:58 00: - - - °C NiCr
 01: +0029.0 °C NiCr
 02: - - - °C NiCr
 03: - - - °C NiCr
 04: +0025.6 °C NiCr
 05: +0025.6 °C NiCr
 06: -0012.8 °C NiCr
 07: - - - °C NiCr
 08: -0023.5 °C NiCr
 09: -0023.6 °C NiCr
 10: +0002.2 %H % rH

DATE: 24.06.02
 17:35:08 00: - - - °C NiCr
 01: +0029.6 °C NiCr
 02: - - - °C NiCr
 03: - - - °C NiCr
 04: +0025.6 °C NiCr
 05: +0025.6 °C NiCr
 06: -0011.7 °C NiCr
 07: - - - °C NiCr
 08: -0023.5 °C NiCr
 09: -0023.4 °C NiCr
 10: +0002.1 %H % rH

DATE: 24.06.02
 18:05:52 00: - - - °C NiCr
 01: +0030.2 °C NiCr
 02: - - - °C NiCr
 03: - - - °C NiCr
 04: +0025.6 °C NiCr
 05: +0025.6 °C NiCr
 06: -0010.9 °C NiCr
 07: - - - °C NiCr
 08: -0023.4 °C NiCr
 09: -0023.1 °C NiCr
 10: +0002.1 %H % rH

DATE: 25.06.02
 00:05:52 00: - - - °C NiCr
 01: +0028.8 °C NiCr
 02: - - - °C NiCr
 03: - - - °C NiCr
 04: +0025.5 °C NiCr
 05: +0025.5 °C NiCr
 06: +0000.2 °C NiCr
 07: - - - °C NiCr
 08: -0023.4 °C NiCr
 09: -0020.2 °C NiCr
 10: +0001.8 %H % rH

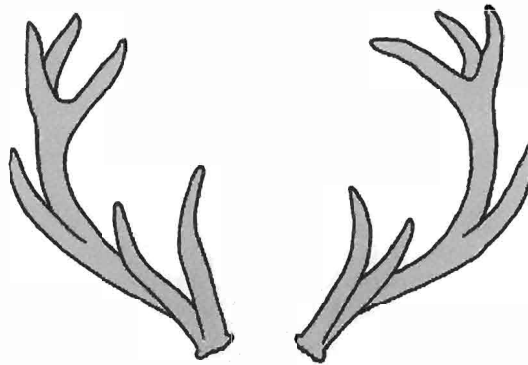
DATE: 25.06.02
 06:05:50 00: - - - °C NiCr
 01: +0029.3 °C NiCr
 02: - - - °C NiCr
 03: - - - °C NiCr
 04: +0025.5 °C NiCr
 05: +0025.5 °C NiCr
 06: -0014.0 °C NiCr
 07: - - - °C NiCr
 08: -0023.9 °C NiCr
 09: -0024.3 °C NiCr
 10: +0001.5 %H % rH

DATE: 25.06.02
 07:58:34 00: - - - °C NiCr
 01: +0029.3 °C NiCr
 02: - - - °C NiCr
 03: - - - °C NiCr
 04: +0025.5 °C NiCr
 05: +0025.4 °C NiCr
 06: +0029.1 °C NiCr
 07: - - - °C NiCr
 08: -0021.2 °C NiCr
 09: -0009.2 °C NiCr
 10: +0001.5 %H % rH

DATE: 25.06.02
 08:52:07 00: - - - °C NiCr
 01: +0028.7 °C NiCr
 02: - - - °C NiCr
 03: - - - °C NiCr
 04: +0025.5 °C NiCr
 05: +0025.5 °C NiCr
 06: +0020.2 °C NiCr
 07: - - - °C NiCr
 08: -0015.1 °C NiCr
 09: -0002.9 °C NiCr
 10: +0001.5 %H % rH

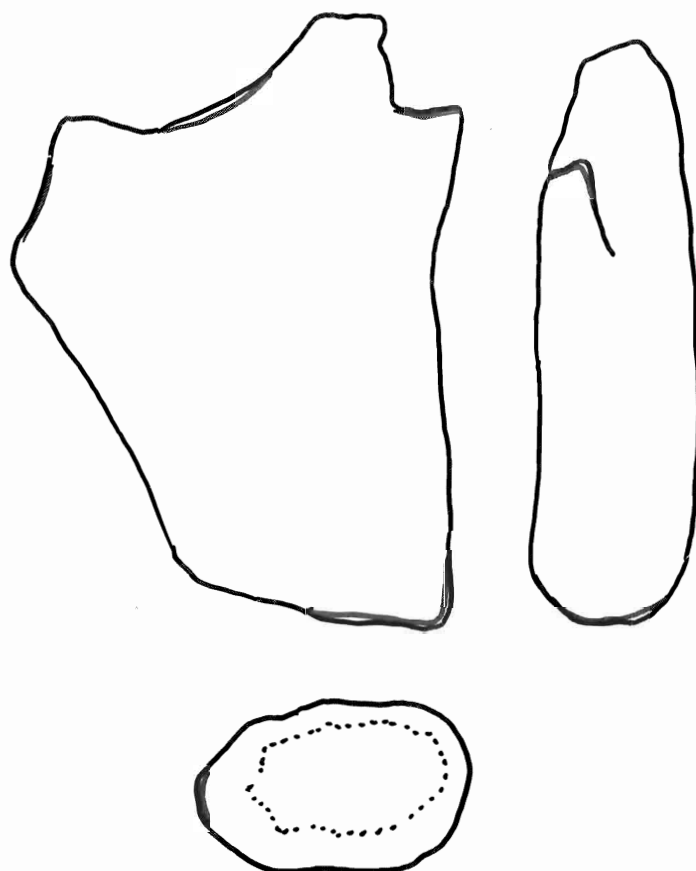
DATE: 25.06.02
 10:00:22 00: - - - °C NiCr
 01: +0028.9 °C NiCr
 02: - - - °C NiCr
 03: - - - °C NiCr
 04: +0025.5 °C NiCr
 05: +0025.4 °C NiCr
 06: +0021.6 °C NiCr
 07: - - - °C NiCr
 08: -0001.4 °C NiCr
 09: +0005.6 °C NiCr
 10: +0001.4 %H % rH

DATE: 25.06.02
 11:38:34 00: - - - °C NiCr
 01: +0029.1 °C NiCr
 02: - - - °C NiCr
 03: - - - °C NiCr
 04: +0025.6 °C NiCr
 05: +0025.4 °C NiCr
 06: +0023.4 °C NiCr
 07: - - - °C NiCr
 08: +0018.6 °C NiCr
 09: +0019.3 °C NiCr
 10: +0001.4 %H % rH



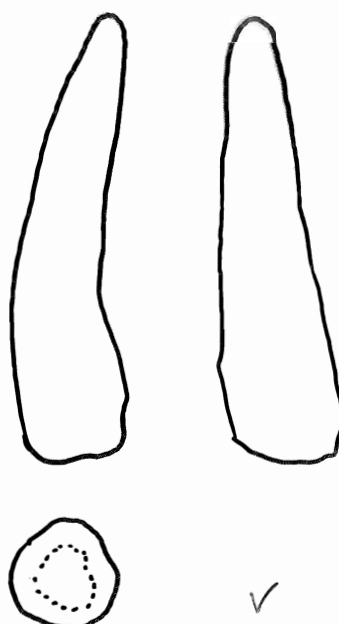
Annexe 7 :

**Calques de la forme des objets avant et après
traitement**

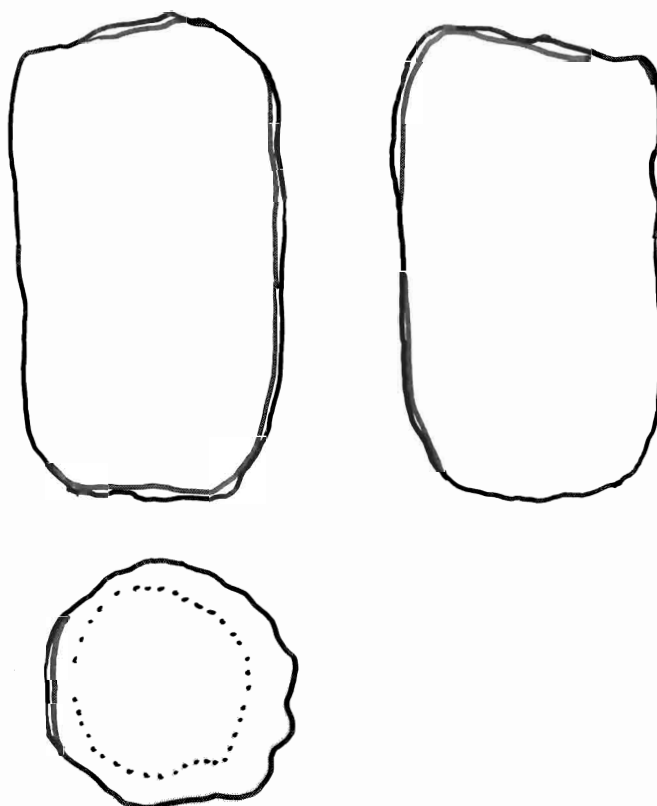


SL 82739

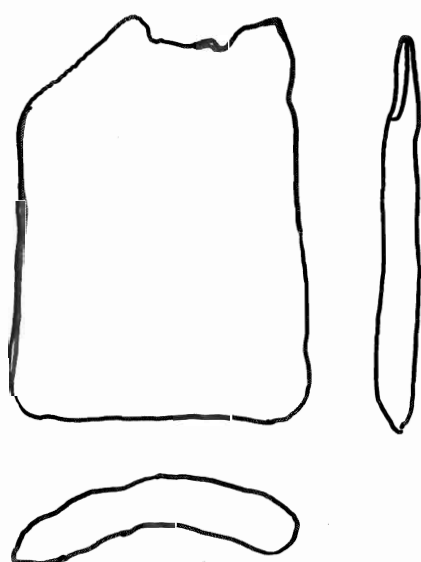
SL 82751



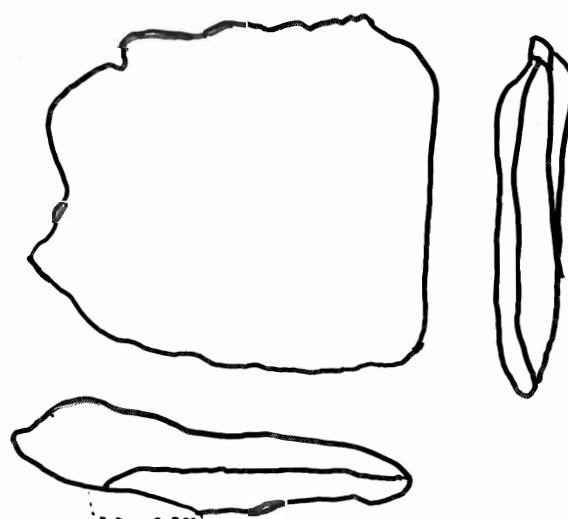
5L 82756



5L 82778



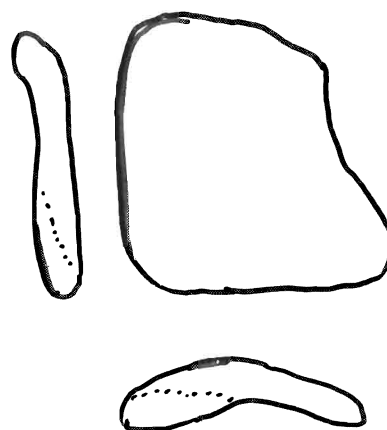
5L 82779



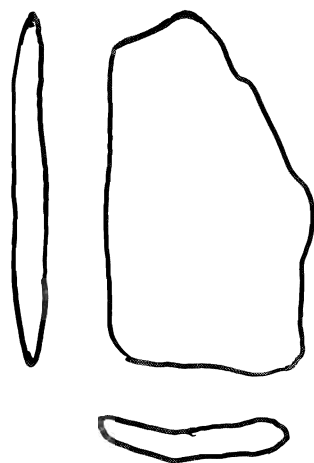
SL 82780



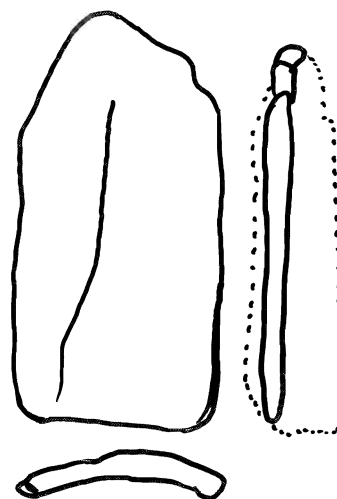
SL 82781



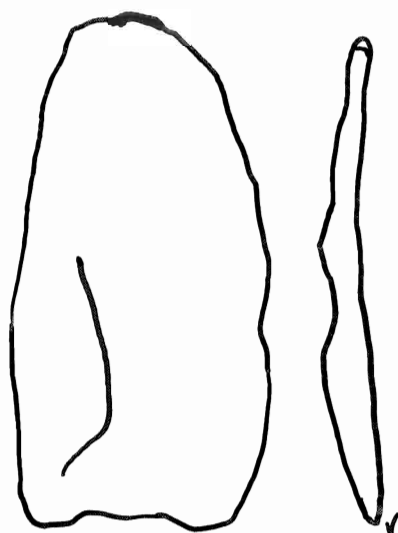
SL 82784



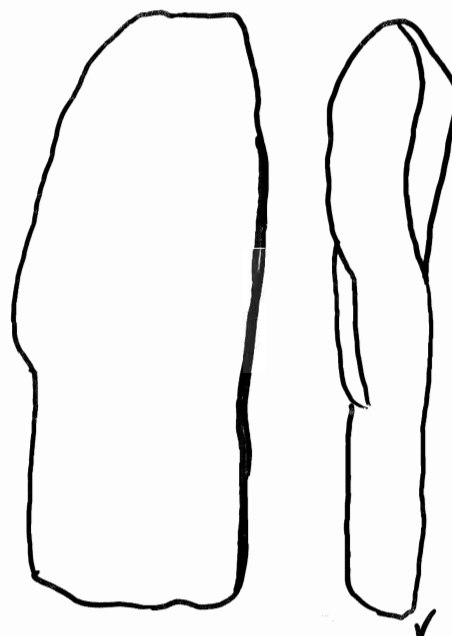
SL 82785



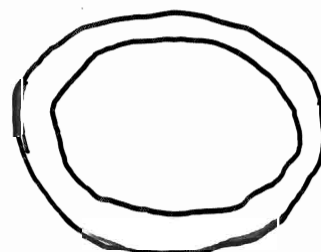
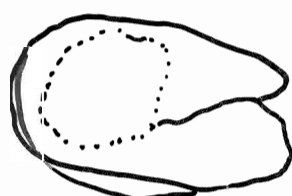
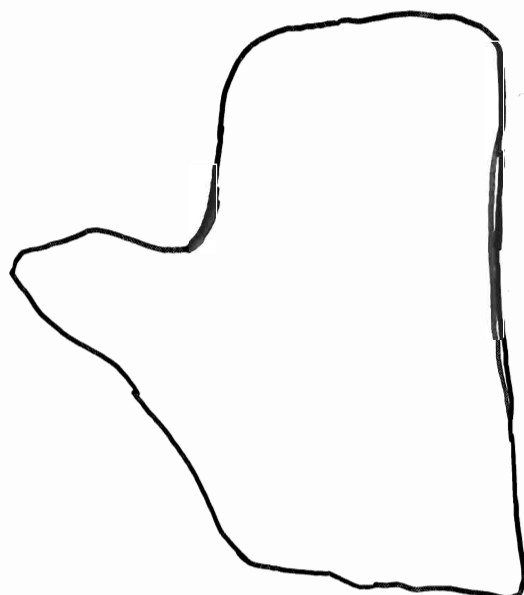
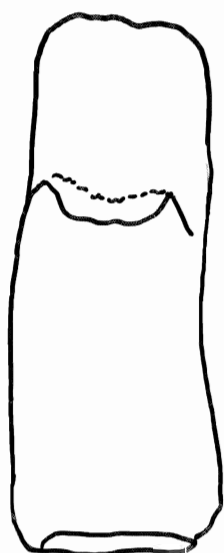
SL 82786

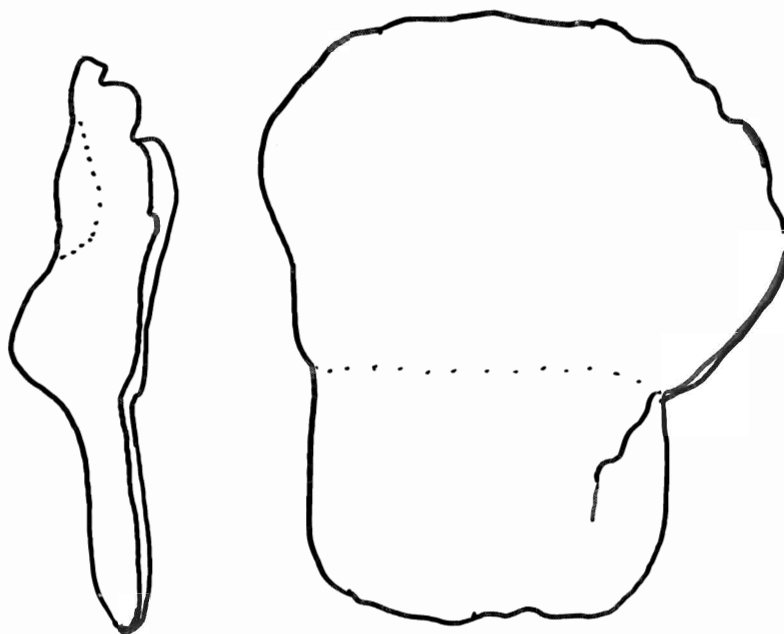


SL 82787



SL 82790

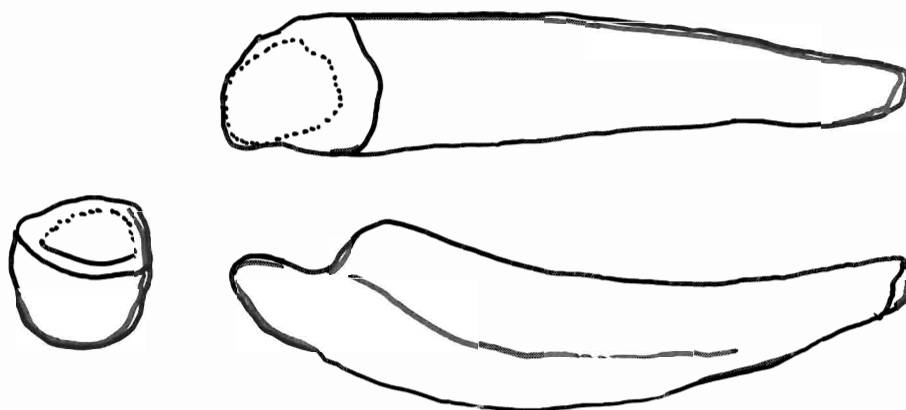




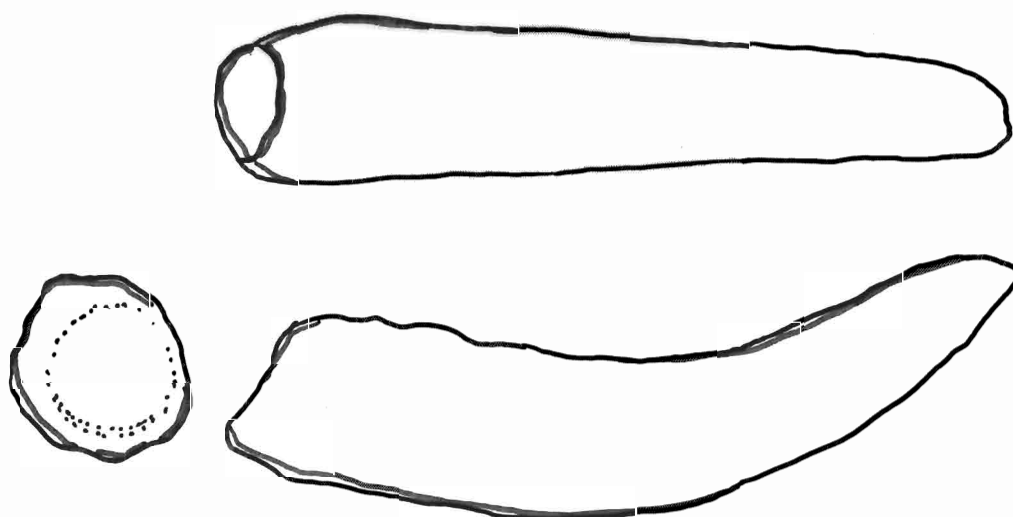
SL 82788

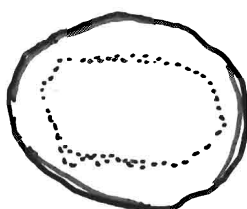
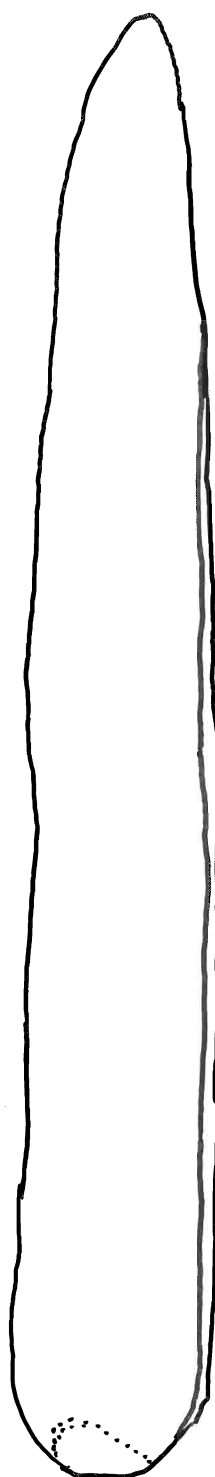
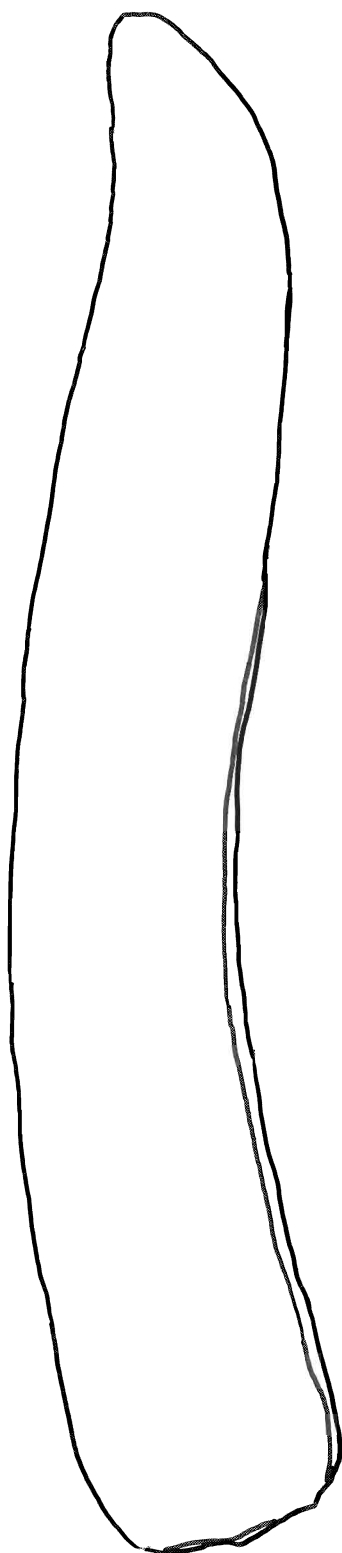


HP 14495

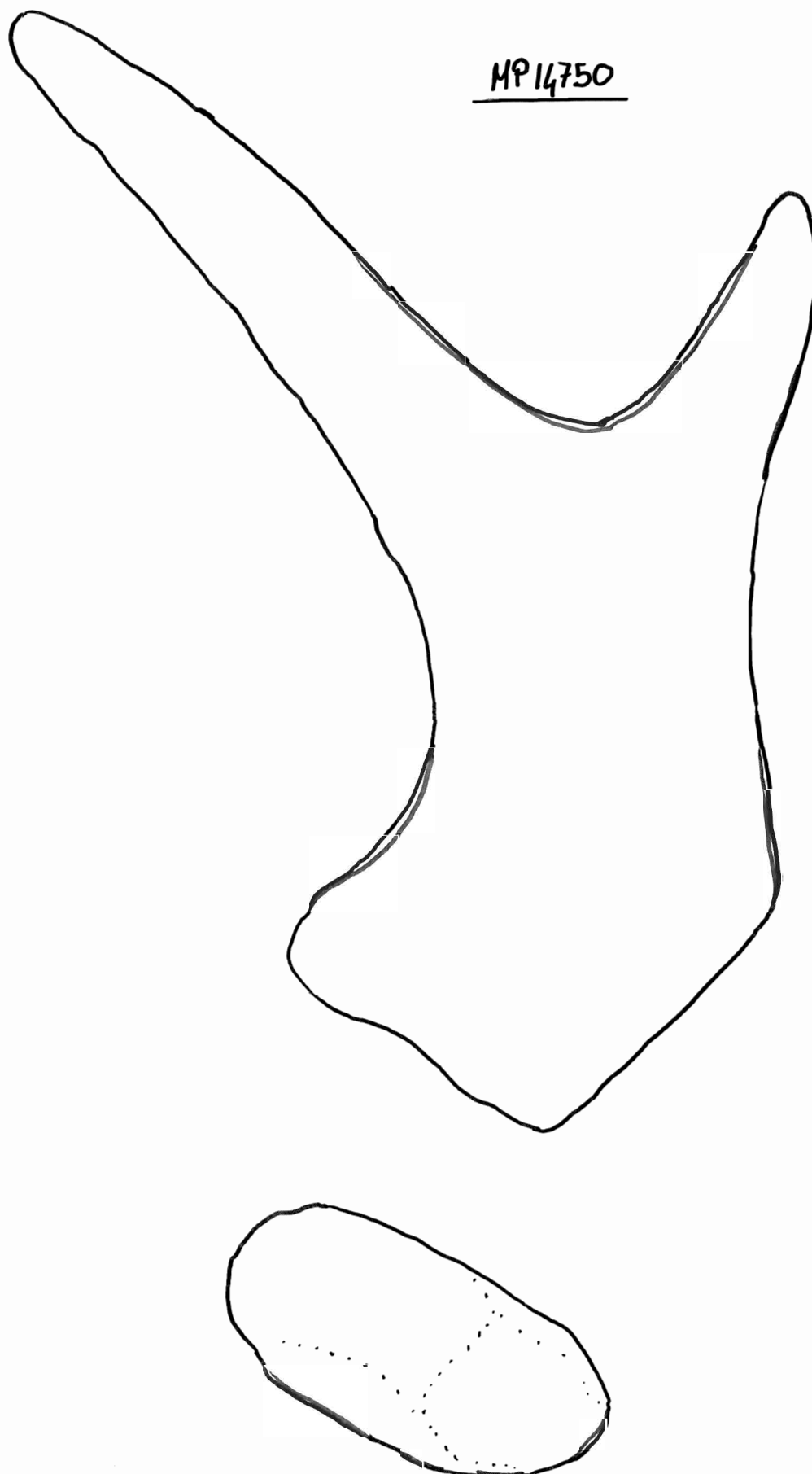


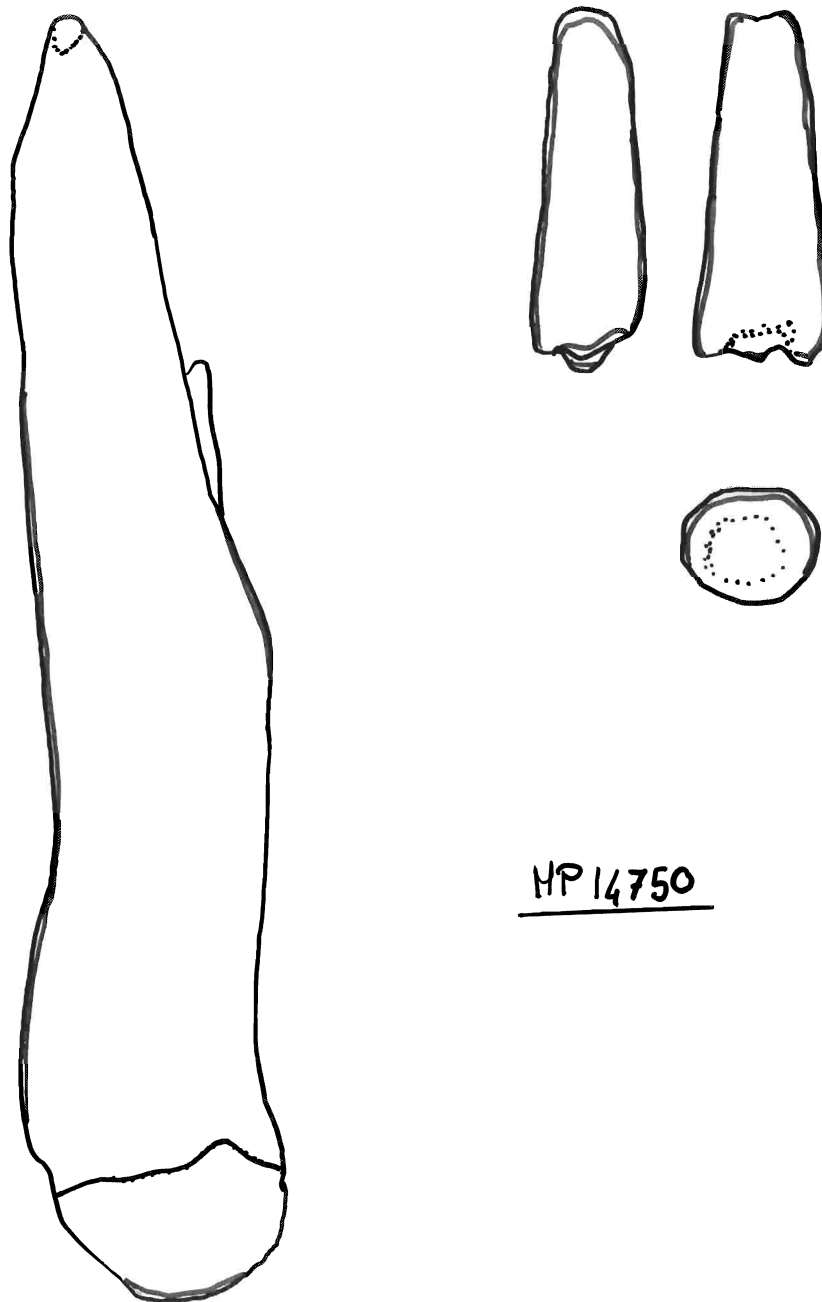
HP 14751





HP 14714

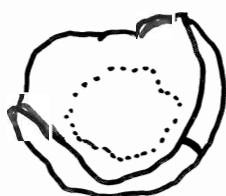


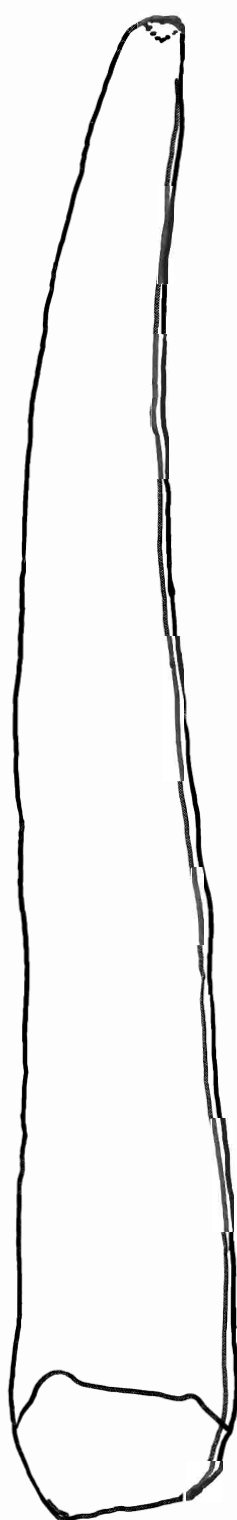


HP 14750



HP 14752



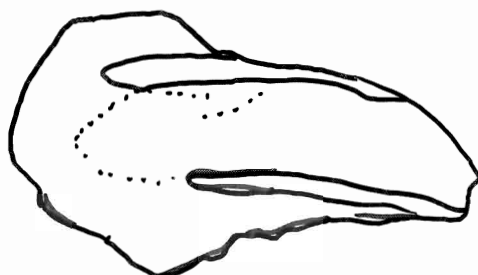
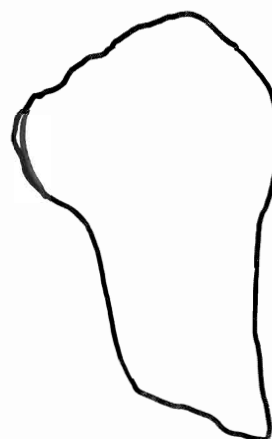
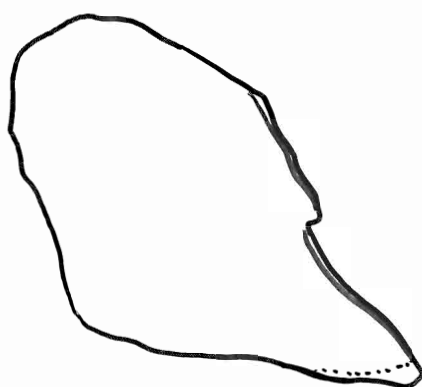


HP sens n°





HS 0007A



HS 0009

HS 0008

